

MAET
00001

**TRANSPORTE DE MATERIA ORGÁNICA Y DERIVA DE
MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS A LO LARGO DE UN RÍO TROPICAL**

CÉSAR TAMARÍS-TURIZO

**DIRECTOR
JAVIER RODRÍGUEZ-BARRIOS M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
SANTA MARTA D.T.C.H.
2009**

**TRANSPORTE DE MATERIA ORGÁNICA Y DERIVA DE
MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS A LO LARGO DE UN RÍO TROPICAL**

CÉSAR TAMARÍS-TURIZO

**Tesis de grado presentado para optar al título de Magister en Acuicultura y
Ecología Acuática Tropical**

DIRECTOR

JAVIER RODRIGUEZ-BARRÍOS M.Sc.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

INSTITUTO DE POSTGRADOS

MAESTRÍA EN ACUICULTURA Y ECOLOGÍA ACUÁTICA TROPICAL

SANTA MARTA D.T.C.H.

2009

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director

Evaluador

Evaluador

DEDICATORIA

A Tatiana Katherine Sierra Labastidas y Miguelangel Tamaris Sierra, fuentes vital de inspiración y apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo y mi proyecto de vida.

A mis padres Victor Tamaris Contreras y Berta Turizo Arango, mis hermanos Ivan y Diana, y demás familiares que de alguna manera me apoyaron anímicamente durante este tiempo.

A todas aquellas personas, que con su actuar, colaboran para el buen funcionamiento del sistema social colombiano y mundial, aquellas personas que propenden por el bienestar general, y que no escatiman esfuerzos para la construcción de una sociedad con buenos principios.

En memoria de Miguel Turizo Taffur Q.E.P.D.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Magdalena, por facilitar la logística de sus diferentes laboratorios que de alguna manera colaboraron para la realización de este trabajo.

Al auxiliar del Laboratorio de Biología Juan Luis Rivera de la Hoz y a los Biólogos "Ing." Isaac Romero Borja y Rodrigo Turizo Correa por su apoyo en la fase de laboratorio.

A Javier Rodriguez, director de este trabajo y coordinador principal del proyecto: DESCRIPTORES FUNCIONALES DE SALUD ECOSISTÉMICA EN LA CUENCA DEL RÍO GAIRA, SANTA MARTA, COLOMBIA. En el cual se enmarcó este estudio.

A los compañeros de la maestría: Saeko Gaitan, Pedro Eslava, Germán Blanco, Olga Camacho, Gloria Ospina, Ernesto Acosta "pocho", Carlos Trujillo "trufa", Mario Gándara y Judith Barros.

Al Sr. Miky Weber y a la Dra. Luz Adriana Velazco por facilitarnos el alojamiento en sus predios (Hacienda La Victoria y R.N. La Iguana Verde) durante los muestreos.

A los estudiantes de pregrado y colegas del programa de Biología quienes apoyaron desinteresadamente en las visitas a campo y en laboratorio: Gustavo Rúa, Cristian Guzmán, Cristian Padilla, Juan Carlos Aguirre, Gilberto Orozco, Leylis Núñez, Leinis Rodríguez, Gabriel Utria y Jessica Hernández.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. MARCO TEÓRICO	14
5. OBJETIVOS	18
5.1 OBJETIVO GENERAL	18
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	19
7. METODOLOGÍA	21
7.1 FASE DE CAMPO.....	21
7.1.1 COLECTA DE LA MO Y MACROINVERTEBRADOS DERIVANTES.....	21
7.1.2 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS.....	22
7.2 FASE DE LABORATORIO	23
7.2.1 CUANTIFICACIÓN DE LA MOPG Y MOPF	23
7.2.2 DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS.....	24
7.2.3 BIOMASA DE MACROINVERTEBRADOS.....	25
7.3 ANÁLISIS DE DATOS.....	25
8. RESULTADOS.....	27
8.1 RÉGIMEN HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO	27
8.2 DERIVA DE MOPG Y MOPF	30
8.2.1 MOPG.....	30
8.2.2 MOPF.....	35
8.3 DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS.....	39
8.3.1 DENSIDAD DE DERIVA	39
8.3.2 BIOMASA DERIVANTE	43
8.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTACIONES ME MUESTREO A PARTIR DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS, DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS Y TRASNPORTE DE MO	47
9. DISCUSIÓN.....	49
9.1 DERIVA DE MOPG Y MOPF	49
9.2 DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS.....	51
9.3 EFECTO DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS CON EL TRANSPORTE DE MO	54
10. CONCLUSIONES	55
11. BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	62

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. DERIVA DE MOPG DURANTE EL CICLO DE UN DÍA, EN LAS TRES ESTACIONES DE ESTUDIO. LOS DATOS SE EXPRESAN EN KG PSLC M⁻³ DE MOPG.30

TABLA 2. DENSIDAD DE DERIVA TOTAL EN CADA UNA DE LAS ESTACIONES DURANTE LOS CUATROS MUESTREOS (MARZO-JUNIO). E1= ESTACIÓN 1, E2= ESTACIÓN 2, E3= ESTACIÓN 3. M1= MUESTREO 1, M2= MUESTREO 2, M3= MUESTREO 3, M4= MUESTREO 4. SD= DESVIACIÓN ESTÁNDAR.42

TABLA 3. COMPARACIONES MÚLTIPLES ENTRE LAS HORAS DE COLECTA (FACTOR A) Y LAS ESTACIONES DE MUESTREO (FACTOR B) PARA LA DENSIDAD (NO M⁻³) Y LA BIOMASA (G M⁻³) DERIVANTE, DURANTE LOS MUESTREOS. GL= GRADOS DE LIBERTAD; F= VALOR DEL ESTADÍSTICO; P= PROBABILIDAD.45

TABLA 4. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD Y LA BIOMASA EN EL CICLO DIARIO (DÍA-NOCHE), TENIENDO EN CUENTA TODOS LOS MUESTREOS, N= NÚMERO DE MUESTRAS, W= PRUEBA DE MANN WHITNEY, P= PROBABILIDAD.46

TABLA 5. DATOS DE TRANSPORTE DE MOPG Y MOPF, EN DIFERENTES PERIODOS CLIMÁTICOS. .50

FIGURA 11. TRANSPORTE DE MOPF DERIVANTE EN CADA ESTACIÓN DE MUESTREO DURANTE LOS MESES DEL ESTUDIO. E1= ESTACIÓN 1, E2= ESTACIÓN 2, E3= ESTACIÓN 3. LAS BARRAS REPRESENTAN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	36
FIGURA 12. DIAGRAMA DE COMPARACIÓN DE MEDIANAS REPRESENTANDO EL TRANSPORTE DE MOPF ($G M^{-3}$) EN LAS TRES ESTACIONES DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO.	37
FIGURA 13. DIAGRAMA DE COMPARACIÓN DE MEDIANAS DE LA BIOMASA DE MOPF ($G M^{-3}$) DERIVANTE EN LAS ESTACIONES DURANTE EL M4.	38
FIGURA 14. DENSIDAD DE DERIVA DE LOS 10 TAXONES MÁS NUMEROSOS DURANTE TODOS LOS MUESTREOS. LAS BARRAS INDICAN EL ERROR A 1 DESVIACIÓN ESTÁNDAR	40
FIGURA 15. PERIODICIDAD DE LA DENSIDAD DE DERIVA, DURANTE LOS CUATRO MUESTREOS (ENERO-JUNIO) EN CADA ESTACIÓN DEL ESTUDIO. M1= MUESTREO 1, M2= MUESTREO 2, M3= MUESTREO 3, M4= MUESTREO 4. LAS BARRAS REPRESENTAN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	41
FIGURA 16. DENSIDAD DE DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS EN LAS ESTACIONES DE ESTUDIO DURANTE LOS CUATRO MUESTREOS. E1= ESTACIÓN 1, E2= ESTACIÓN 2, E3= ESTACIÓN 3. M1= MUESTREO 1, M2= MUESTREO 2, M3= MUESTREO 3, M4= MUESTREO 4. LAS BARRAS REPRESENTAN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	43
FIGURA 17. APOORTE DE BIOMASA DERIVANTE DURANTE LOS CUATRO MUESTREOS (ENERO-JUNIO) EN CADA ESTACIÓN DEL ESTUDIO. M1= MUESTREO 1, M2= MUESTREO 2, M3= MUESTREO 3, M4= MUESTREO 4. LAS BARRAS REPRESENTAN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	44
FIGURA 18. BIOMASA DERIVANTE DURANTE EL CICLO DIARIO CON DATOS PROMEDIOS DE LAS TRES ESTACIONES DURANTE EL M3. LA PARTE OSCURA DE LA BARRA INDICA LAS HORAS DE OSCURIDAD. LAS BARRAS REPRESENTAN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	46
FIGURA 19. ACP DE LAS VARIABLES BIOLÓGICAS Y LAS FÍSICAS Y QUÍMICAS. E= ESTACIÓN, M= MUESTREO, DEN= DENSIDAD DE DERIVA ($IND M^{-3}$), MO= BIOMASA DERIVANTE DE MOPG ($G M^{-3}$), O_2 = OXÍGENO DISUELTO ($MG L^{-1}$), COND= CONDUCTIVIDAD ($\mu S M^{-1}$), T= TEMPERATURA ($^{\circ} CELCIUS$), Q= CAUDAL ($M^3 S^{-1}$), VEL= VELOCIDAD DEL AGUA ($M S^{-1}$).....	47
FIGURA 20. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN, ENTRE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO. LAS CURVAS FUERON SUAVIZADAS CON DISPERSIÓN LOCALMENTE PONDERADA (REGRESIÓN CUADRÁTICA - 60%). O_2 = OXÍGENO DISUELTO ($MG L^{-1}$), COND= CONDUCTIVIDAD ($\mu S M^{-1}$), T= TEMPERATURA ($^{\circ} CELCIUS$) Q= CAUDAL ($M^3 S^{-1}$), VEL= VELOCIDAD DEL AGUA ($M S^{-1}$), MO= BIOMASA DERIVANTE DE MOPG ($G M^{-3}$), DEN= DENSIDAD DE DERIVA ($IND M^{-3}$).....	48

RESUMEN

Durante los meses de marzo a junio del 2008, se realizaron cuatro muestreos (mensuales) en tres tramos del río Gaira: parte alta (1700 msnm), media (900 msnm) y baja (50 msnm), donde se evaluaron el transporte de materia orgánica particulada gruesa (MOPG), materia orgánica particulada fina (MOPF), densidad de deriva y biomasa de macroinvertebrados durante el ciclo diario y su relación con variables físicas, químicas e hidrológicas. En cuanto al transporte de MOPG se detectaron diferencias significativas entre las estaciones, siendo la estación 2 (parte media) durante el primer muestreo, la que registró los valores más altos de todo el estudio (474 kg.m^{-3}). La MOPF tuvo valores similares durante todos los muestreos ($0,58 - 6,34 \text{ g.m}^{-3}$); sin embargo, se detectaron diferencias significativas en los muestreos 3 y 4. En cuanto a la densidad y biomasa de deriva de macroinvertebrados acuáticos, los taxones que presentaron mayores valores durante el estudio fueron los Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera. En términos generales, se observó que con el incremento de las lluvias, descendió el transporte de MOPG y la densidad y biomasa derivante de macroinvertebrados y que hubo una relación inversa entre la velocidad del agua y el transporte de MOPG ($r_s = -0,70$; $n = 12$; $P < 0,05$), mientras que la MOPF, presentó valores constantes durante el estudio. En la escala del ciclo diario, de la densidad de deriva y la biomasa de macroinvertebrados, no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, los mayores valores de densidad y biomasa se observaron en las horas del día.

1. INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) que es transportada a lo largo de un río, es un importante recurso energético y de nutrientes, principalmente en la cabecera de estos sistemas (Wallace *et al.* 2007; Mathuriau y Chauvet 2002). En los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, el aporte de la MO es un importante suministro energético incluso en la zona baja (Deluque 2005). Esta energía es aprovechada, en primera instancia, como materia orgánica particulada gruesa (MOPG) por los organismos trituradores, los cuales junto con la acción mecánica de la corriente, ayudan a su transformación a materia orgánica particulada fina (MOPF). En esta instancia, la materia orgánica es aprovechada principalmente por filtradores y colectores (Wantzen *et al.* 2008).

La MOPG es generada principalmente por la vegetación ribereña, la cual está dada principalmente por el aporte de hojas, flores, frutos y ramas (Wallace *et al.* 1991; Webster *et al.* 1999). También se puede generar en el propio río a través de procesos físicos como la floculación de la MOPF. La MOPG y MOPF transportada en el gradiente altitudinal de un río varía en sus proporciones (Vannote *et al.* 1980), donde los mayores valores de MOPG se producen en la cabecera y disminuye con el gradiente altitudinal, mientras que la MOPF muestra un comportamiento contrario. Sin embargo, la carencia de estos estudios en ríos tropicales no permite validar este comportamiento en esta zona latitudinal.

Un componente importante del transporte de MO es la deriva de macroinvertebrados acuáticos, los cuales exhiben diversos patrones, de acuerdo con la presencia o no de potenciales organismos depredadores de estos grupos (Flecker 1992), lo que induce a que el aumento de las densidades de deriva aumenten en las horas de la noche, especialmente durante la puesta del sol, posteriormente al amanecer vuelven a disminuir (Flecker 1992; Quiñones *et al.* 1998; Ramírez y Pringle 2001; March *et al.* 2003; Rodríguez-Barrios *et al.* 2007).

Otros factores que influyen sobre la deriva de macroinvertebrados acuáticos, son las precipitaciones, las cuales generan aumento en los caudales, tal como lo reportan Cano (2003), Rodríguez-Barrios *et al.* (2007) y Wilcox *et al.* (2008), quienes encontraron que la densidad y biomasa de deriva aumentan con la disminución de los caudales; sin embargo, Ríos (2008) evidenció que el efecto del aumento de las precipitaciones generaba el aumento de la densidad de deriva de macroinvertebrados en un río andino de Ecuador.

La deriva de estos organismos es un componente de gran importancia sobre los niveles tróficos en los ríos, debido al subsidio energético que suministra aguas abajo (Allan 1995), a peces, camarones (Ramírez y Pringle 2001; March *et al.* 2003) y algunos macroinvertebrados (Kohler 1985; Rodríguez-Barrios *et al.* 2007; Tamaris-Turizo *et al.* 2007).

Los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, por estar separado del sistema de montañas de los Andes, se caracterizan por tener patrones hidrológicos y climáticos particulares (Sarmiento 1987; Prosierra 1998), por tanto, los procesos biológicos y físicos pueden presentar características particulares a las presentadas en los ríos andinos. Por ello, en este estudio se pretende evaluar tanto el transporte de MOPG y MOPF, como la densidad y biomasa de macroinvertebrados derivantes en un gradiente altitudinal (50 – 1700 msnm) durante época de sequía, en un río de la Sierra Nevada de Santa Marta.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Caribe colombiano y en especial la zona de la Sierra Nevada de Santa Marta presenta un sistema aislado de montañas con un alto índice hídrico y ambientes propicios para el desarrollo de una gran variedad de macroinvertebrados (Zúñiga *et al.* 2000, 2001; Muñoz-Quesada 2004). A pesar de estas condiciones, son escasos los trabajos y publicaciones encaminados a las evaluaciones ecológicas realizadas a partir de la dinámica del transporte de materia orgánica (MO) y macroinvertebrados acuáticos.

En los últimos años la deforestación, el establecimiento de cultivos inadecuados, el uso inapropiado de los suelos, entre otras actividades antrópicas, han venido ejerciendo una presión sobre las cuencas hidrográficas de la Sierra Nevada de Santa Marta, lo cual ha conllevado a modificaciones en la dinámica de los ecosistemas acuáticos, así como a desequilibrios en la deriva catastrófica de los organismos acuáticos (Deluque 2005) y posibles alteraciones en el transporte de MO. A su vez, estos cambios afectan de forma negativa a las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que habitan aguas abajo.

Es por eso que conocer el proceso de transporte de MO y la deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo de un río, podría ser usado como base para la creación de indicadores del estado ecológico de los ecosistemas de aguas corrientes.

Las variaciones pluviométricas y de caudales promueven cambios en la estructura de las comunidades en los ecosistemas acuáticos continentales. Dichos cambios se encuentran relacionados con variaciones en los ciclos de vida y metabolismo de estos sistemas (Cano 2003; Ballesteros 2004). Otro factor vinculado con esta dinámica es el gradiente altitudinal, que se encuentra estrechamente relacionado

con la dominancia de los grupos funcionales en diferentes tramos de los ríos, debido a los cambios en la disponibilidad alimenticia a lo largo del cuerpo de agua (Vannote *et al.* 1980); estos son algunos elementos que influyen sobre las variaciones espaciales a escala diaria en los ecosistemas acuáticos y reflejan parte de los procesos funcionales del sistema.

Basados en lo anterior, en este trabajo como problemas de investigación formula las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la cantidad de materia orgánica particulada gruesa (MOPG) y materia orgánica particulada fina (MOPF) que se transporta a lo largo del río Gaira durante eventos de aguas bajas?
2. ¿Cuál es el efecto del caudal y la velocidad de la corriente en el transporte de la MOPG y MOPF a lo largo de un gradiente altitudinal en el río Gaira, durante eventos de época seca?
3. ¿Cómo es la dinámica de la deriva de macroinvertebrados acuáticos en un ciclo diario en un gradiente altitudinal durante eventos hidrológicos de aguas bajas?



3. JUSTIFICACIÓN

El material transportado en la parte baja de un pequeño río sin llanura aluvial es en mayor proporción resultado de los aportes alóctonos de sus sectores previos (Naiman *et al.* 1987). Este hecho ha permitido que la cantidad y tipo del material derivante de un río se use como un descriptor de procesos de la cuenca (Ramírez y Pringle 2001). Sin embargo, son pocos los estudios de referencia en este tipo de ecosistemas tropicales, en los cuales se soportan estas hipótesis en condiciones naturales o ambientes no perturbados.

Este es el primer trabajo realizado a lo largo de un río de la Sierra Nevada de Santa Marta, que pretende conocer el transporte de MOPG y MOPF y la densidad y biomasa de macroinvertebrados acuáticos en diferentes tramos del río, con el fin de generar bases científicas para futuros estudios que estén encaminados a tomar acciones de manejo adecuadas para este tipo de ecosistemas.

Además, dada las particularidades de los ríos del flanco noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, los cuales poseen una amplia diversidad geomorfológica, son cortos, atraviesan múltiples zonas de vida y desembocan directamente en el mar, la dinámica de la MO transportada a través de estos sistemas tienen un elevado valor ecológico y ambiental en las cuencas. Puesto que la del río Gaira es utilizada por diversas comunidades a lo largo de su trayectoria y es fuente para el suministro de agua al sector turístico de El Rodadero y zonas aledañas de la ciudad de Santa Marta, por lo cual, su estudio aporta información para valorar integralmente sus aguas.

Se considera que en general existen tres tipos de deriva entre los macroinvertebrados acuáticos: conductual, constante o casual y catastrófica. Esta última está asociada con modificaciones del sustrato, por altas descargas de agua, épocas de sequía, altas temperaturas, actividades humanas entre otras (Waters 1965), por lo tanto, la dinámica del transporte de macroinvertebrados acuáticos, medido en términos de abundancia y/o biomasa se convierte en descriptor de posibles alteraciones en los sistemas lóticos.

4. ANTECEDENTES

Las estimaciones del material transportado por la corriente, entre ellas la deriva del material orgánico particulado y de organismos de las comunidades acuáticas son un importante descriptor de la dinámica de un río (Wallace *et al.* 1991; Benfield *et al.* 2000), debido a que permiten conocer parte de la función del ecosistema acuático en el tramo a evaluar. Una de las variables más influyentes sobre el transporte de MO es la variación del caudal en los ríos tropicales, la cual puede manifestarse a distintas escalas temporales, pero las variaciones periódicas, estacionales o de ciclo diario, se constituyen en condiciones permanentes a las que los organismos han debido responder adaptativamente (Rodríguez-Barrios *et al.* 2006).

La deriva de los insectos acuáticos comúnmente se ha separado del transporte de MO en todas sus formas, aunque ambos componentes se encuentran relacionados debido a que subsidian energéticamente a los niveles tróficos superiores como son las poblaciones de peces (Mathuriau y Chauvet 2002; Richardson *et al.* 2005) y posteriormente es convertida en MOPF y ultrafina subsidiando energéticamente otros niveles tróficos.

Uno de los estudios más recientes realizados en un río altoandino (Ecuador), fue llevado a cabo por Ríos (2008), quien encontró patrones de deriva sólo para los géneros *Baetodes* y *Leptohyphes*. Además, registra una fuerte relación entre la época climática con las abundancias de deriva en la zona de estudio, donde en la época de lluvia se reportaron las mayores tasas de deriva. Adicionalmente, no encontró diferencias significativas en el transporte de MOPG durante las estaciones climáticas; sin embargo, durante la época seca se presentaron menores valores, evidenciando que las precipitaciones influyen el arrastre de

MO alóctona al sistema lótico y, por ende, al subsidio energético de las estructuras tróficas del sistema (Bilby y Likens 1979).

El primer trabajo publicado que evaluó los procesos de deriva de macroinvertebrados acuáticos en Colombia fue realizado por Quiñones *et al.* (1998), quienes no encontraron diferencias significativas entre las densidades de deriva en un ciclo diario como tampoco entre épocas climáticas; sin embargo, registran un leve aumento en las densidades de deriva nocturna. Posteriormente, Cano (2003), en el río Piedras Blancas (Antioquia), evaluó la deriva de organismos y MO como indicador de alteraciones en el metabolismo, producto del trasvase del caudal, evidenciando diferencias significativas en la MOP-ultrafina, lo que resulta una fracción importante en primera instancia para el subsidio energético a los niveles tróficos inferiores. Por otro lado, Rodríguez-Barrios *et al.* (2007) evaluaron la densidad y biomasa de macroinvertebrados acuáticos de una quebrada de Bogotá, en donde no encontraron diferencias significativas, a escala temporal de un día, en las densidades y en la biomasa de macroinvertebrados derivantes.

El primer trabajo en el Caribe colombiano sobre el transporte de MOPG y deriva de macroinvertebrados, fue realizado por Deluque (2005), en la parte baja de la cuenca baja del río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta). En este estudio no se encontraron diferencias significativas entre la abundancia y biomasa de deriva durante el día y la noche, similar a los resultados obtenidos en los estudios anteriormente mencionados. Sin embargo, obtiene cifras importantes de deriva de la carga orgánica total de carbono orgánico disponible (CODT) durante el periodo de transición de sequía a la época de lluvias.

La variabilidad de horarios de deriva mostrada por algunos macroinvertebrados acuáticos y la particularidad de su comportamiento al derivar, hacen que la composición de la fauna derivante no represente a la comunidad de organismos propiamente establecida en el bentos de un tramo del río (Allan 1995; Dobson y

Frid 1998; Angelier 2002). Los patrones de deriva de macroinvertebrados acuáticos registrados por Flecker (1992) en 8 ríos de los Andes venezolanos durante época seca, presentaron un incremento significativo relacionado con la presencia de peces depredadores, comparado con los ríos sin estos depredadores, en los cuales no se evidencia un patrón definido.

Varios autores (Wantzen y Junk 2000; Rodríguez-Barrios *et al.* 2007, 2008) coinciden en que el flujo de energía en los sistemas lóticos se encuentra afectado por la interacción río-bosque en cuanto al aporte de MO de la zona ribereña y una fracción importante de esta materia gruesa viva derivante, es representada por los macroinvertebrados transportados aguas abajo mediante el proceso de arrastre. Cuando la materia orgánica particulada (MOP) entra a las quebradas, puede experimentar tres procesos diferentes: almacenarse en el lecho por algún período de tiempo, transportarse a los ecosistemas aguas abajo o ser respirada en forma de CO₂ debido a procesos biológicos (Naiman *et al.* 1987; Allan 1995; Webster *et al.* 1999). De estos procesos, el transporte aguas abajo es de gran importancia debido a que se convierte en un subsidio energético en varios eslabones de la red trófica.

Los procesos de retención de la MOPG tienen gran importancia en la función de los ríos ya que permiten conocer la dinámica fluvial de un tramo o sector del cuerpo de agua a diferentes escalas temporales, por lo tanto, es importante en el suministro energético en tramos aguas abajo (Allan 1995). El único estudio publicado actualmente en Colombia es el de Rodríguez-Barrios *et al.* (2007) en una quebrada tropical de Bogotá, el cual demostró un alto porcentaje de retención de MOPG y una asociación negativa entre la magnitud del caudal y el porcentaje de retención. De este trabajo se puede inferir que mediante los procesos de retención de MOP se puedan discernir posibles alteraciones del ecosistema en un momento dado, debido a factores biofísicos que promueven un mayor transporte

de MOPF en comparación con la MOPG, la cual tiende a almacenarse por su relación área / densidad.

Romero *et al.* (2005) encontraron que la biomasa en la deriva de macroinvertebrados acuáticos y terrestres, se convierte en la mayor fuente de alimento para especies de peces y, que esta biomasa, se ve afectada por el régimen de descargas de las quebradas de las costas de Oregon – USA, lo que demuestra que los procesos de transporte de biomasa de macroinvertebrados acuáticos son un subsidio importante para el equilibrio de los niveles tróficos, especialmente en los peces (Flecker 1992; Allan 1995).

Las relaciones entre la longitud total o el ancho de la cabeza de los macroinvertebrados con la biomasa, simplifican la estimación de la biomasa por métodos indirectos, principalmente en organismos de pequeñas tallas, los cuales son de difícil cuantificar por el método de secado (Benke 1993). Algunos de los estudios que han desarrollado expresiones numéricas con las cuales relacionar la longitud del cuerpo y/o la longitud entre los lóbulos oculares, con la biomasa de los macroinvertebrados acuáticos de ríos templados, fueron realizados por Burgherr y Meyer (1997), Benke *et al.* (1999), Cressa (1999) y Stead *et al.* (2003). Sin embargo hay pocas expresiones numéricas realizadas a partir de macroinvertebrados de zonas tropicales.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el transporte de MOPG y MOPF, al igual que la densidad y biomasa de macroinvertebrados acuáticos derivantes, a lo largo de un gradiente altitudinal en un río de la Sierra Nevada de Santa Marta durante eventos de sequía.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la dinámica del transporte de MOPG y MOPF a lo largo del río Gaira.
- Establecer el efecto del gradiente altitudinal del río, sobre la biomasa y densidad de deriva de macroinvertebrados acuáticos.
- Describir las variaciones diarias (día-noche) en la deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del río Gaira.
- Determinar el efecto de las variaciones en la magnitud del caudal, al igual que las de algunas variables físicas y químicas como -temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto sobre el transporte de MO y deriva de macroinvertebrados en los tramos estudiados.

6. ÁREA DE ESTUDIO

Los muestreos se desarrollaron en tres tramos de la cuenca del río Gaira. El primero (estación 1) está ubicado en la parte alta (sector de San Lorenzo) a 1600 msnm, esta localidad se encuentra bien conservada, ya que cerca a esta zona no se realizan actividades agropecuarias extensivas, colinda con el Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta. Esta estación se localiza entre los $11^{\circ}10'2''$ N y $74^{\circ}10'41.5''$ W; es una zona con laderas muy inclinadas, lecho con una alta heterogeneidad de microhábitats dominados por gravas y grandes rocas, con zonas de rápidos y remansos (Tamaris-Turizo *et al.* 2007), condiciones características de las cabeceras de ríos. En la vegetación ribereña abundan árboles de gran tamaño que generan una sombra permanente sobre el lecho del río. La precipitación anual en el sector (según datos multianuales del IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-) es de 2446 mm.

El segundo sitio de muestreo fue en la parte media del río (estación 2) (Hacienda La Victoria) a 900 msnm localizado entre los $11^{\circ}07'44.2''$ N y $74^{\circ}05'35.8''$ W. En esta zona existen grandes extensiones de cultivos de café, además de localidades en las cuales se desarrolla la producción ganadera en poca intensidad. La zona presenta también una alta heterogeneidad de microhábitats donde dominan las gravas, además presenta zonas de rápidos y remansos (Sierra-Labastidas *et al.* 2009). La vegetación ribereña de la estación 2 se encuentra poco conservada y se limita a escasos 20 m del río. La precipitación anual en el sector (según datos multianuales del IDEAM) es de 2491 mm.

El tercer sitio de muestreo (estación 3) se localiza en la parte baja de la cuenca del río Gaira (Puerto Mosquito) a 50 msnm localizado entre los $11^{\circ}10'26''$ N, $74^{\circ}10'37''$ W. Según Espinal y Montenegro (1963), en el sector se presenta la formación de bosque muy seco tropical, en donde las lluvias caen únicamente durante dos o

tres meses del año; las brisas del mar y las que provienen de la Sierra Nevada contribuyen a moderar las altas temperaturas que corresponden a la latitud y elevación sobre el nivel del mar y a la poca nubosidad del lugar que concurre un mayor número de días lluviosos y los aguaceros son más intensos que en la formación monte espinoso tropical (García y Ospino 2005). El lecho del río está dominado por arenas y en menores proporciones por las gravas, además, posee poca pendiente, lo que hace que los remansos sea la zona dominante. Cerca a esta estación (aguas arriba) se encuentra una planta de captación de aguas y río abajo hay varias zonas del balneario, convirtiendo al sector en el más intervenido entre las estaciones de estudio (Figura 1).

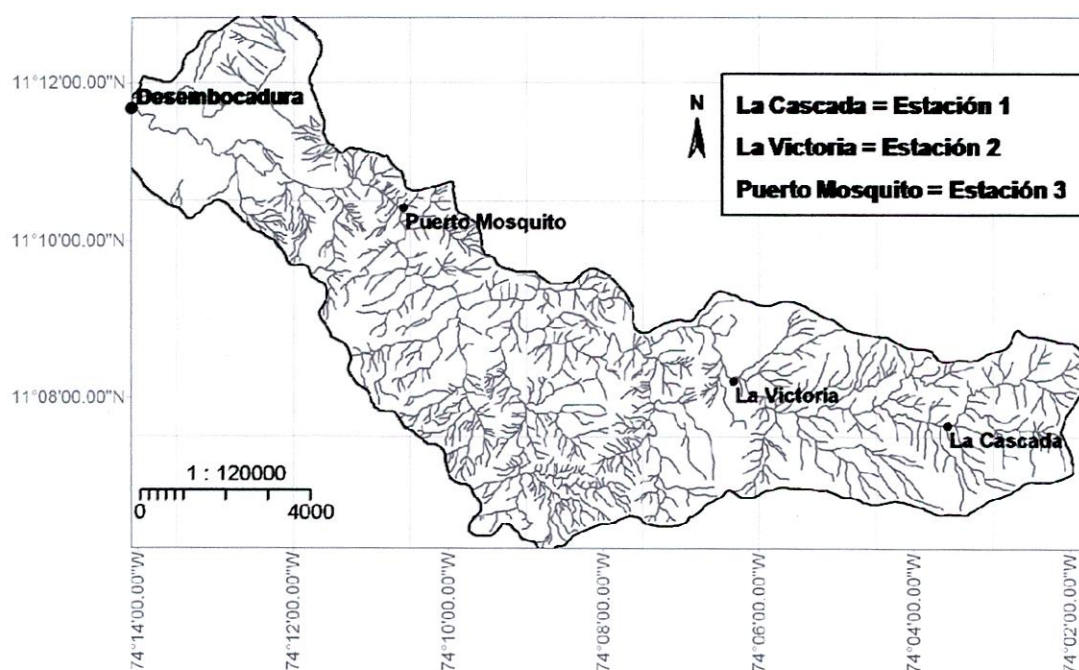


Figura 1. Ubicación de las tres estaciones de estudio en la red de drenaje de la cuenca del río Gaira (Santa Marta). Modificado de Tamaris-Turizo y López (2006).

7. METODOLOGÍA

7.1 FASE DE CAMPO

Se realizaron cuatro muestreos mensuales en cada estación, los cuales se llevaron a cabo durante los meses de marzo a junio del 2008, correspondientes a época seca y comienzo de las lluvias en la zona. En cada estación se muestreó durante un ciclo de 24 horas en las siguientes fechas: 19-23 de marzo (M1), 04-12 de abril (M2), 25 de abril al 3 de mayo (M3) y 11-20 de junio del 2008 (M4).

En cada sitio de muestreo se seleccionó un tramo recto donde el flujo del agua fuese lo más uniforme posible, pero a su vez presentara alta heterogeneidad microgeomorfológica de hábitat acuático, con un sistema de rápidos y remansos (Frisell *et al.* 1986).

7.1.1 Colecta de la MO y macroinvertebrados derivantes

Para la colecta de la MOPG, en cada tramo del río se instalaron tres trampas de deriva, cada una con un área de $0,0045 \text{ m}^2$ y un poro de malla de $250 \mu\text{m}$ (Figura 2), las cuales se ubicaron contra la corriente, dichas trampas permanecieron sumergidas durante la exposición de las redes. Posteriormente, fueron desocupadas cada 12 horas (para evitar su colmatación), hasta completar el ciclo diario de 24 horas. En cada colecta se fijaron las muestras en alcohol al 80 %, se almacenaron y finalmente se rotularon por separado con información de la estación, fecha y hora de colecta en bolsas de calibre grueso.

Para la toma de muestras de la MOPF se llenaron tres botellas plásticas (de 500 ml de capacidad) con agua del río, en las horas del día y tres en las horas de la noche, las muestras se mantuvieron refrigeradas hasta su llegada al laboratorio. Este proceso se realizó en todos los tramos del gradiente altitudinal.

Para la colecta de organismos derivantes, se ubicaron en cada tramo del río tres trampas de deriva (adicionales a las de colecta de la MOPG), cada una con un área de $0,0045 \text{ m}^2$ y un poro de malla de $250 \text{ }\mu\text{m}$, las cuales se colocaron contra la corriente y se mantuvieron totalmente sumergidas durante los muestreos. Las trampas se desocuparon cada 4 horas, hasta completar un ciclo de 24 horas. En cada colecta se fijaron las muestras en alcohol al 80%, se almacenaron y finalmente fueron rotuladas con información de la estación, fecha y hora de colecta en bolsas de calibre grueso. Finalmente todas las muestras se transportaron al Laboratorio de Biología de la Universidad del Magdalena, para su procesamiento.

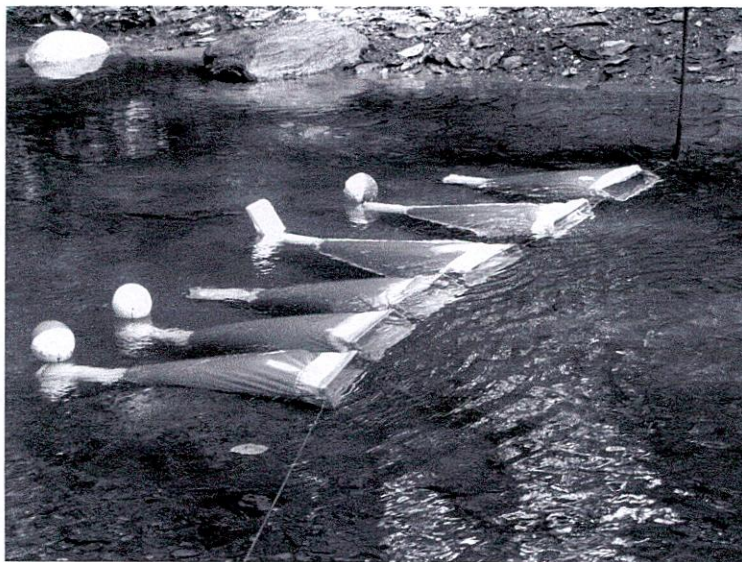


Figura 2. Ubicación de las seis redes de deriva de MOPG y macroinvertebrados en uno de los tramos evaluados en el río Gaira. Se usaron tres redes para la colecta de MOPG y tres para los macroinvertebrados.

7.1.2 Medición de las variables físicas y químicas

Durante las campañas de muestreo, paralelo a la colecta de las muestras de MO se midieron, las siguientes variables físicas y químicas mediante una sonda

multiparámetros WTW: temperatura del agua (°C), pH (unidades), conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$) y oxígeno disuelto (mg l^{-1}). Además, se tomaron datos de velocidad de la corriente con un objeto flotador, ancho de la sección y profundidad promedio de la sección para calcular el caudal en cada una de las estaciones. Se observó el material del lecho en las tres estaciones y a partir de dichas observaciones se estimó que el coeficiente de rugosidad de Manning era de 0,8 (Monsalve 1999).

7.2 FASE DE LABORATORIO

7.2.1 Cuantificación de la MOPG y MOPF

Para el presente trabajo se considero MOPG a aquella materia orgánica particulada con un diámetro igual o mayor a $1000 \mu\text{m}$ y la MOPF con un diámetro entre $1 \mu\text{m}$ y $1000 \mu\text{m}$ (Vannote *et al.* 1980). Sin embargo, en este estudio se evaluó la MOPF entre $45 \mu\text{m}$ y $1000 \mu\text{m}$.

Para medir la MOPG derivante (hojas, frutos, ramas y fragmentos de organismos), ésta se retiró del alcohol, se enjuagó con abundante agua y se pasó por un tamiz de 1mm de poro. Posteriormente se llevó a la estufa a $60 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 ó 48 horas, según el tamaño de la muestra, para obtener el peso seco de la materia orgánica derivante en el cuerpo de agua. A continuación se calcinó en una mufla a $550 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas para finalmente obtener el peso seco libre de cenizas (PSLC). El transporte de MOPG se calculó utilizando la ecuación de Smock (2007).

$$D = g / (T.V.A)$$

Donde D = Densidad de deriva de la MOPG ($\text{g PSLC de MOPG x m}^{-3}$), g = Gramos de PSLC de la MOPG, T = Tiempo de exposición de la red (segundos), V

= Velocidad de la corriente en la boca de la red (m s^{-1}), A = Área sumergida de la red (m^2).

Para la medición de la MOPF, se utilizaron filtros de fibra de vidrio (Whatman con poro de $45 \mu\text{m}$) y bomba de vacío 100 ml de agua de río por cada muestra. Los filtros fueron pesados previamente en una balanza analítica (precisión $\pm 0,1 \text{ mg}$). Se consideraron las siguientes categorías de la MOPF: grande y mediana ($250\text{-}1000 \mu\text{m}$), pequeña ($100\text{-}250 \mu\text{m}$) y fina ($45\text{-}100 \mu\text{m}$) (Wallace *et al.* 2007). El producto del filtrado se llevó a la estufa a 105°C por 24 horas y posteriormente a la mufla a 550°C durante 2 horas, para conocer su peso final. El transporte de MOPF se calculó de acuerdo a la ecuación de Smock (2007).

$$D = g / AI$$

Donde, D = Densidad de deriva de la MOPF ($\text{g PSLC de MOPF} \times \text{m}^3$), g = Gramos de PSLC de la MOPF, AI = Alícuota filtrada de $0,0001 \text{ m}^3$.

7.2.2 Deriva de macroinvertebrados

Inicialmente se separaron los macroinvertebrados acuáticos del resto de la MO, para adelantar la identificación de los organismos encontrados al nivel taxonómico de mayor resolución posible (subfamilia para los quironómidos y género para el resto de macroinvertebrados), para lo cual se utilizaron las claves taxonómicas y descripciones de Lopretto (1995), Merritt y Cummins (1996), Domínguez *et al.* (2001) y Domínguez *et al.* (2006).

La densidad de deriva de los macroinvertebrados acuáticos se calculó de acuerdo a la ecuación de Smock (2007).

$$D = (Ab) / (T.V.A)$$

Donde D es la densidad de deriva (ind m^{-3}), Ab es la abundancia de la población derivante, T es el tiempo de exposición de la red, V es la velocidad de la corriente en la boca de la red (m s^{-1}) y A es el área sumergida de la red, expresada en m^2 .

7.2.3 Biomasa de macroinvertebrados

Durante el proceso de identificación y conteo se midió con un ocular micrométrico, la longitud del cuerpo y el ancho de la cabeza del 70% de los organismos por cada taxón; a los organismos que no fueron medidos se les asignó la talla promedio reportada para cada taxón, las cuales se transformaron a peso seco libre de ceniza (PSLC) usando las regresiones propuestas por Burgherr y Meyer (1997), Benke *et al.* (1999), Cressa (1999) y Stead *et al.* (2003).

La densidad de deriva de macroinvertebrados se calculó según la ecuación propuesta por Smok (2007).

$$B = (g) / (T.C)$$

Donde B es la biomasa en la deriva de macroinvertebrados ($\text{g de macroinvertebrados x m}^{-3}$), g son los gramos de macroinvertebrados acuáticos, T es el tiempo a la exposición a la red (en segundos) y C es el caudal que pasa por la boca de la red ($\text{m}^{-3} \text{s}$).

7.3 ANÁLISIS DE DATOS

Para evaluar las diferencias estadísticas entre las estaciones de muestreo y entre muestreos, sobre el transporte de MOPG y la deriva de macroinvertebrados, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis (K-W), puesto que los datos no

cumplieron con los supuestos de normalidad y/o homogeneidad de varianzas. Las diferencias significativas se evaluaron con la prueba post hoc no paramétrica de Student-Newman-Keuls (SNK).

La densidad y biomasa de los macroinvertebrados derivantes durante el ciclo diario (entre los intervalos de horas de colecta) se analizaron mediante la prueba no paramétrica K-W, usando los intervalos de hora como los tratamientos del factor.

Adicionalmente, las variables densidad de deriva y la biomasa derivante se contrastaron de manera independiente para los sectores del río y el ciclo día-noche mediante un ANOVA de dos factores, para evaluar las posibles diferencias entre sitios, el ciclo diario y su interacción. Como en la mayoría de los casos la interacción no fue significativa, se utilizaron análisis de varianza de manera independiente con cada factor (hora y estación).

Las variables físicas (caudal y velocidad de la corriente), las químicas (temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto), las bióticas (densidad de deriva) y de MOPG se exploraron inicialmente a través de un análisis de componentes principales (ACP), utilizando correlación de los datos para observar cuales variables presentaban colinealidad. Posteriormente, se excluyó la variable STD y se corrió una correlación múltiple entre las demás variables, la cual mostró un ajuste cuadrático.

Todos los análisis se realizaron con los paquetes estadísticos Statgraphics Centurion XV y Past, para Windows. El nivel de significación utilizado fue de 0,05.

8. RESULTADOS

8.1 RÉGIMEN HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

El flanco noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta presenta un régimen hidrológico unimodal, el cual comprende un época seca o de bajas precipitaciones que va de diciembre a marzo, seguida de una época de lluvias, comprendida entre los meses de abril y noviembre, durante este tiempo se presenta un leve ascenso en las precipitaciones hasta el mes de mayo, posteriormente en junio y julio se evidencia una estabilidad pluviométrica y finalmente las precipitaciones aumentan en el mes de octubre, durante el cual se alcanzan las lluvias más altas del ciclo anual (Tamaris-Turizo y López 2006; Prosierra 1998) (Figura 3).

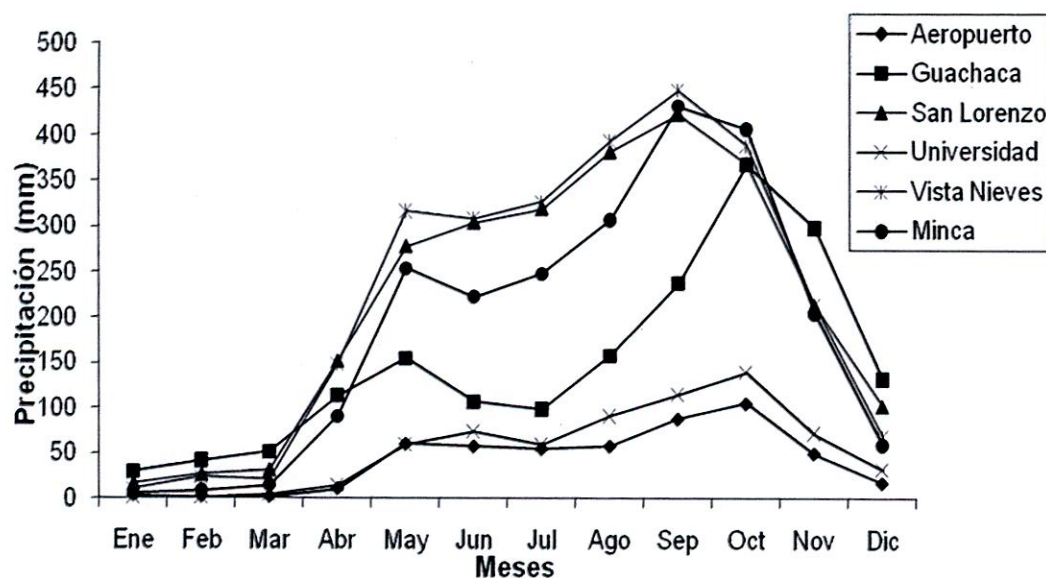


Figura 3. Precipitación multianual (1980-2004) registrada por las estaciones meteorológicas e hidrológicas del IDEAM en la cuenca del río Gaira y zonas adyacentes.

Aunque no se obtuvieron datos de caudales y precipitaciones de las fechas de muestreo ya que no se encuentran disponibles por el IDEAM, se describió el comportamiento hidrológico e hidráulico durante las campañas de muestreo; este comportamiento fue diferente en cada una de las estaciones.

En la estación 1 no hubo precipitaciones durante la realización de los muestreos, sin embargo, en los M3 y M4, se observó un aumento del caudal y un mayor arrastre del material del lecho del río, lo que es indicativo del aumento de las precipitaciones locales. En la estación 2, durante los dos primeros muestreos se presentaron leves lloviznas y durante los dos últimos muestreos ocurrieron fuertes precipitaciones en las horas del día. En la estación 3, durante el M3 se presentaron lloviznas; y sólo durante el M4 se presentaron lluvias fuertes, lo que se evidenció con un aumento abrupto del caudal es esta estación de muestreo (Figura 4).

En términos generales, se puede decir que los M1, M2 y M3 corresponden a bajas precipitaciones y que durante M4 se dieron las más altas precipitaciones, dando comienzo a la temporada de lluvias en la zona.

Los caudales históricos registrados por el IDEAM para la parte media del río Gaira, corresponden al patrón de precipitaciones de la zona. Sin embargo, la presencia de una sola estación limnigráfica, limita la información disponible para el estudio del efecto de variables ambientales sobre el transporte de MO a lo largo del río Gaira. Por tanto, en este estudio se realizaron mediciones puntuales en las estaciones de muestreo durante las visitas a campo.

Durante el muestreo 1 (M1), los caudales medidos en las tres estaciones fueron similares; sin embargo, la estación 2 (parte media) durante los tres primeros muestreos, presentó los datos más altos ($0,41 - 0,88 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), seguido de la estación 3 (parte baja) ($0,30 - 0,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), la cual presentó el valor más alto durante el muestreo 4 (M4) ($1,44 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Finalmente la estación 1 (parte alta) durante todo el estudio presentó los valores más bajos ($0,14 - 0,30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (Figura 4).

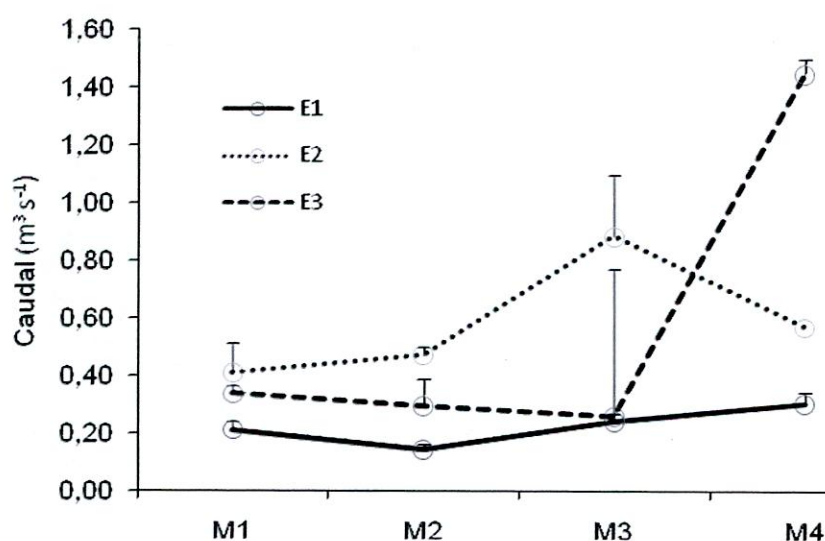


Figura 4. Caudales promedios por estación durante los cuatro muestreos. M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, M3 = muestreo 3, M4 = muestreo 4, E1 = Estación 1 (parte alta), E2 = estación 2 (parte media), E3 = estación 3 (parte baja). Las barras representan desviaciones estandar.

8.2 TRANSPORTE DE MOPG Y MOPF

8.2.1 MOPG

En términos generales, en la estación 1 se reportaron los mayores valores de deriva de MOPG, con excepción del M1, en el cual la estación 2 registra los mayores valores de deriva de MOPG. Durante todas las campañas de muestreo, las menores tasas de deriva se reportaron en la estación 3, con excepción del M3, la menor deriva de MOPG se reportó en la estación 2 (Tabla 1). Lo anterior evidencia un decrecimiento altitudinal, en el transporte de la MOPG a lo largo del río Gaira durante la época climática evaluada, la cual correspondió a la temporada seca e inicio de las lluvias en esta zona de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Tabla 1. Transporte de MOPG durante el ciclo de un día, en las tres estaciones de estudio. Los datos se expresan en kg PSLC de MOPG m⁻³.

Estación	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
1 - (La Cascada)	4,10 ± 0,2	140,36 ± 51,8	48,32 ± 14,6	1,12 × 10 ⁻³ ± 0,5 × 10 ⁻³
2 - (Honduras)	474,74 ± 92,5	109,91 ± 35,7	6,10 ± 2,2	0,67 × 10 ⁻³ ± 0,1 × 10 ⁻³
3 - (Puerto Mosquito)	0,34 ± 0,15	18,33 ± 10,1	8,17 ± 3,7	0,26 × 10 ⁻³ ± 0,04 × 10 ⁻³

Durante el primer muestreo, la biomasa de MOPG que derivó durante el ciclo diario en la estación 1 fue de 4,10 kg.m⁻³ (± 0,2), aumentando drásticamente en la estación 2 (474,74 kg.m⁻³ ± 92,5) y seguida de una fuerte disminución en la estación 3 (0,34 kg.m⁻³ ± 0,15). Durante el M2 los mayores valores de transporte de la MOPG se presentaron en la estación 1 (140,36 kg.m⁻³ ± 51,8), seguida de la estación 2 y finalmente la estación 3 con 109,91 (± 35,7) kg.m⁻³ y 18,33 kg.m⁻³ (± 10,1) respectivamente. Este mismo comportamiento se observó durante el M4, (Figura 5); sin embargo, los valores de biomasa transportada fueron muy inferiores a los registrados en los anteriores muestreos (Tabla 1).

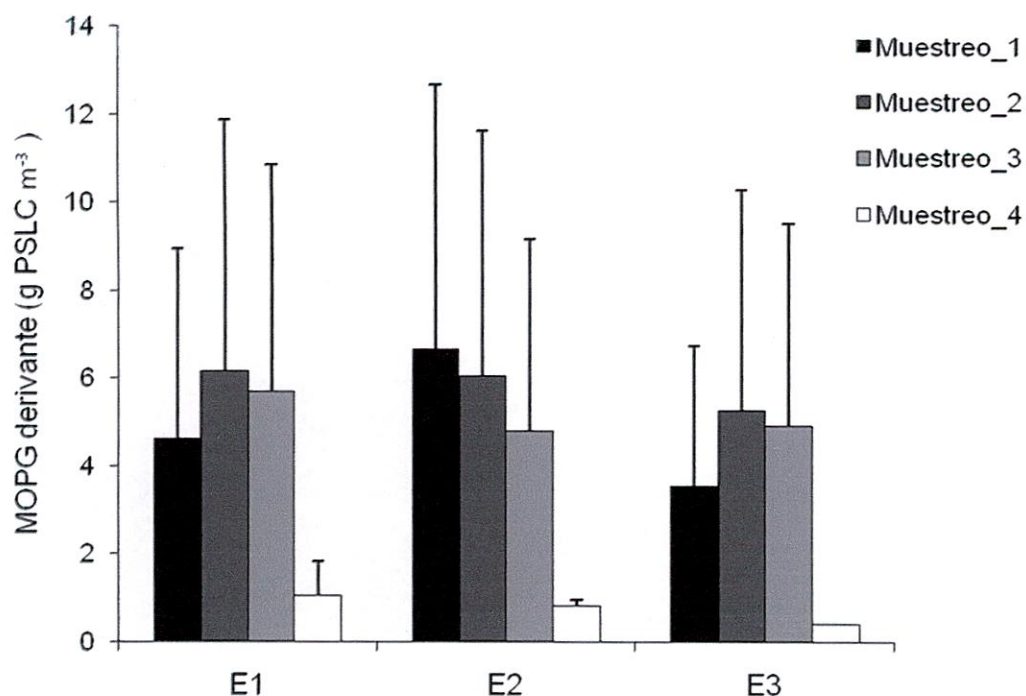


Figura 5. Biomasa derivante de MOPG en las tres estaciones de estudio durante cada muestreo. Los datos de biomasa fueron transformados con $\text{Log}(x+1)$. E1 = estación 1, E2 = estación 2, E3 = estación 3. Las barras representan la desviación una estándar.

Durante el M1 se presentaron diferencias significativas entre la biomasa transportada de MOPG y las estaciones evaluadas ($P < 0.05$; $n = 17$; $K-W = 13,07$). El diagrama de cajas y bigotes muestra que las estaciones 1 y 3 presentaron valores similares y la estación 2 presentó los valores más altos de biomasa que fueron significativamente distintos a los de las otras dos estaciones (Figura 6). Este muestreo se desarrolló en época de sequía o de aguas bajas en la zona.

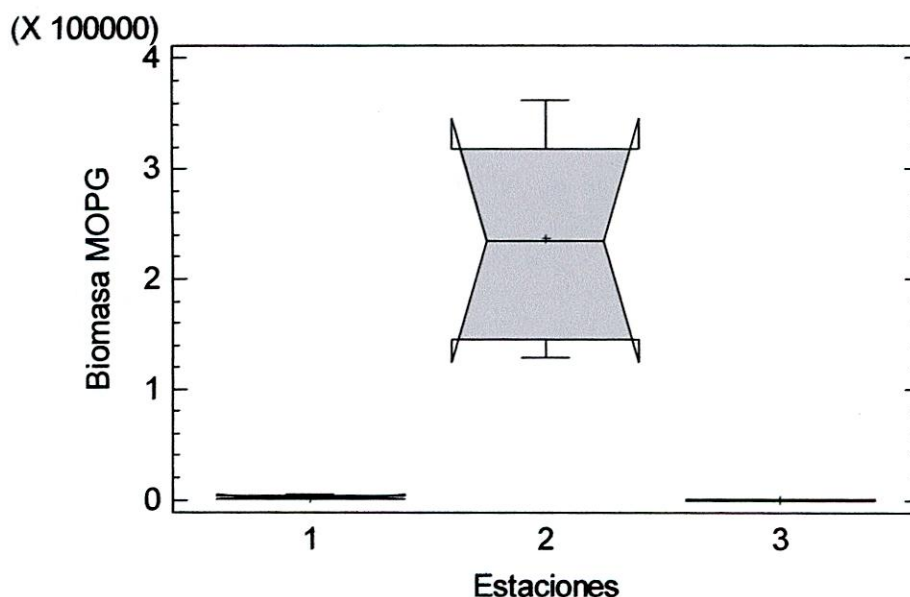


Figura 6. Diagrama de comparación de medianas de la biomasa de MOPG (g.m^{-3}) transportada durante M1.

En el M2 se evidenciaron diferencias significativas del transporte de MOPG entre las estaciones evaluadas ($P < 0,05$; $n = 18$; $K-W = 7,52$); durante el desarrollo de este muestreo se presentaron algunas precipitaciones en las estaciones 2 y 3. En el diagrama de cajas y bigotes se observan valores similares de biomasa de MOPG en las estaciones 1 y 2, pero la estación 1 fue significativamente distinta en un 95 % de la estación 3 (Figura 7).

En el tercer muestreo al igual que en el primero y en el segundo, se encontraron diferencias significativas en la deriva de MOPG entre las estaciones ($P < 0,05$; $n = 18$; $K-W = 9,08$). Sin embargo, la estación 1 difirió significativamente de las estaciones 2 y 3 (Figura 8). Este mismo comportamiento (diferencias entre las estaciones 1 y 3) se evidenció en el muestreo 2. Durante este muestreo se presentaron fuertes lluvias en la estación 2.

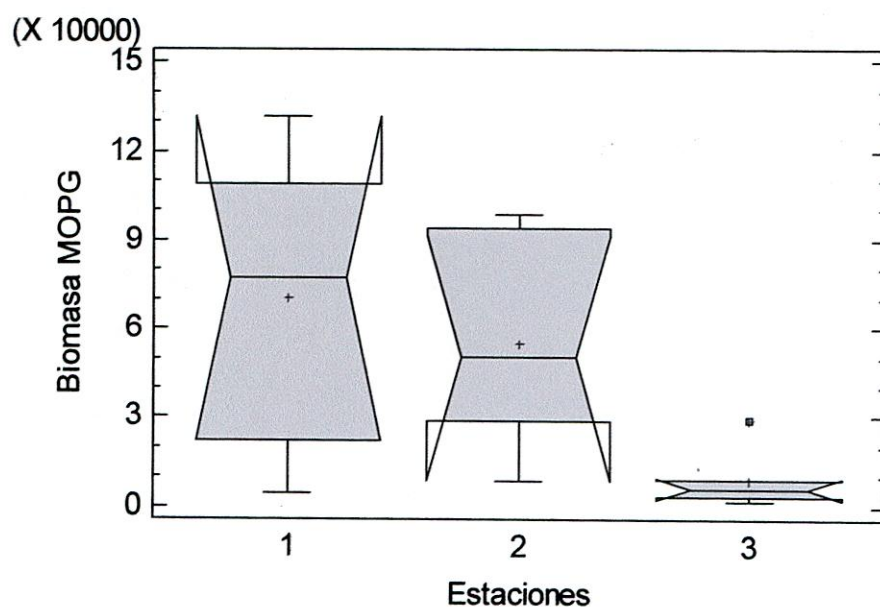


Figura 7. Diagrama de comparación de medianas de la biomasa de MOPG (g.m⁻³) transportada durante M2.

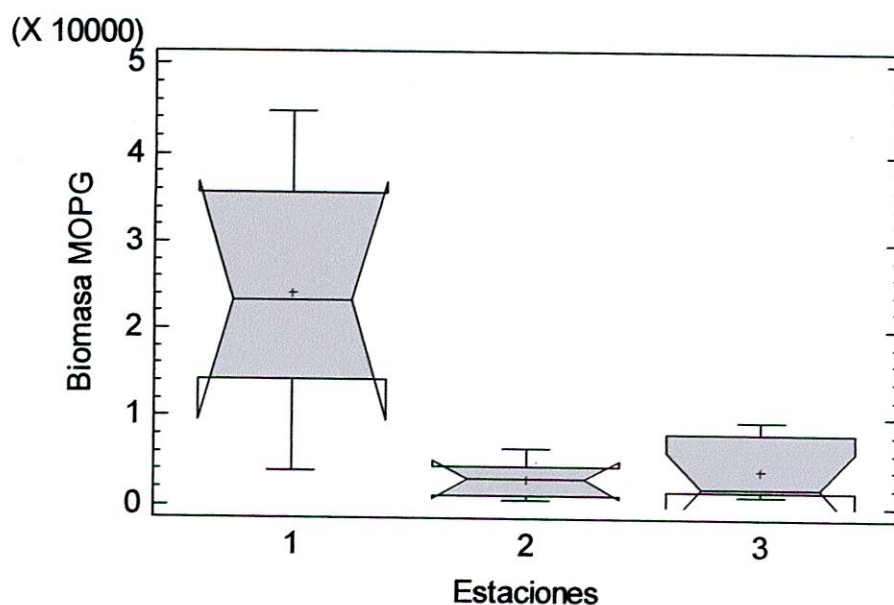


Figura 8. Diagrama de comparación de medianas de la biomasa de MOPG (g.m⁻³) transportada durante M3.

Al igual que en los muestreos anteriores, durante M4 se observaron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo 1 y 3 ($P < 0,05$; $n = 18$; $K-W = 9,02$). Comportamiento similar a M2 y M3 (Figura 9).

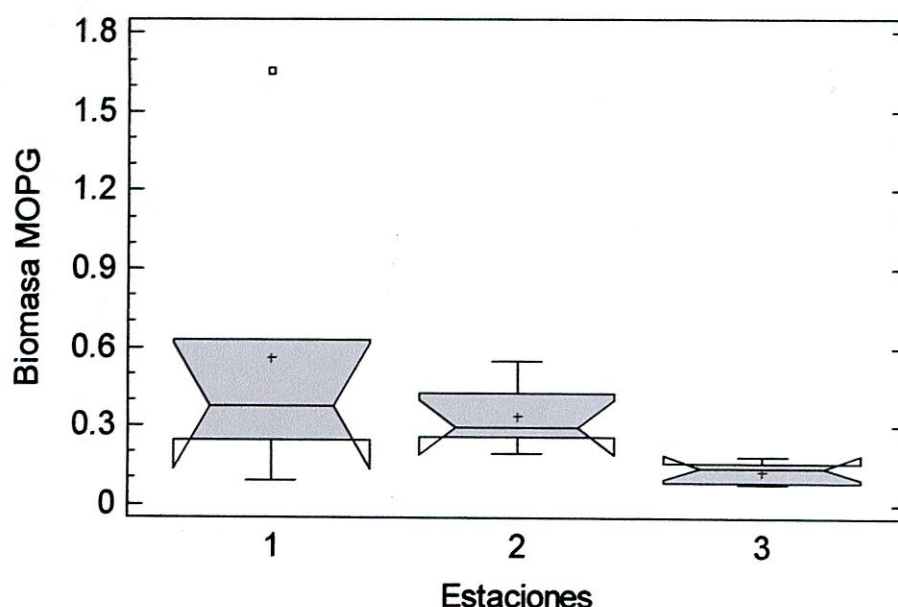


Figura 9. Diagrama de comparación de medianas de la biomasa de MOPG (g.m^{-3}) transportada durante M4.

En cuanto al ciclo diario, no se detectaron diferencias significativas entre el transporte de MOPG durante el día y noche ($P > 0,05$; $n = 24$; $W = 0,00$). Esto evidencia que los procesos de deriva de MOPG fueron constantes durante los días monitoreados. Sin embargo, durante la mayoría de muestreos los valores de deriva de MOPG aumentaron durante las noches, excepto en las estaciones 2 y 3 en M3 y en la estación 1 durante M4 (Figura 10).

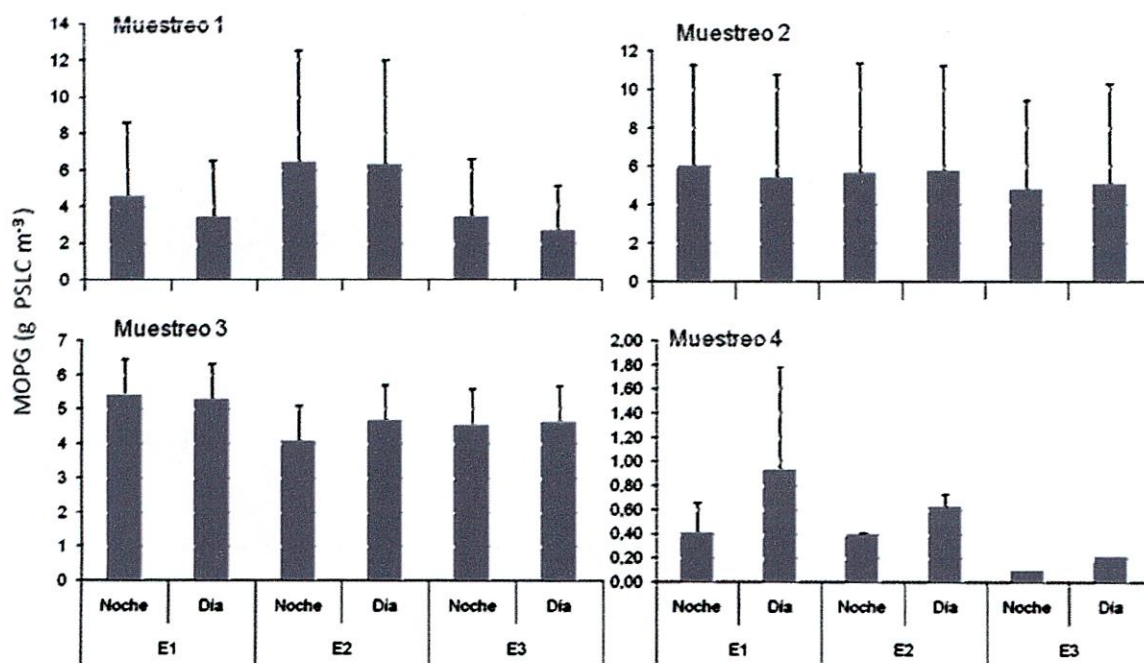


Figura 10. Biomasa promedio de MOPG transportada durante los cuatro muestreos en los tres sitios de estudio, teniendo en cuenta el ciclo diario (día – noche). Los valores de biomasa fueron transformados con $\text{Log}(x+1)$. E1 = estación 1, E2 = estación 2, E3 = estación 3. Las barras representan una desviación estándar.

8.2.2 MOPF

El transporte de MOPF total que derivó durante todo el estudio en las estaciones 1, 2 y 3 fue respectivamente: 14,81, 9,32 y 15,11 g.m^{-3} . Donde los mayores valores se registraron en la estación 3, seguida de la estación 1; la estación con el menor valor fue la 2. Sin embargo, esta tendencia no fue constante durante el estudio. En la Figura 11, se observa que durante el primer muestreo, el cual correspondió al momento de aguas bajas, el mayor transporte de MOPF se dio en la estación 2 con 4,78 g.m^{-3} y el menor en la estación 1 con 1,90 g.m^{-3} . Durante el muestreo 2, la MOPF transportada en la estación 1 fue 3 veces mayor que en el muestreo anterior (M1) (6,36 g.m^{-3}) y 1.5 veces mayor que los muestreos siguientes (M3 y M4) con 3,17 y 3,37 g.m^{-3} respectivamente. En la estación 2,

descendió el transporte de la MOPF durante los muestreos (hasta $0,93 \text{ g.m}^{-3}$), a su vez, aumentaron las precipitaciones y los caudales de este sector. En la estación 3, la MOPF aumentó gradualmente durante los tres primeros muestreos (de $2,15$ a $6,34 \text{ g.m}^{-3}$), sin embargo, durante el muestreo 4 se observó una disminución en este transporte ($2,45 \text{ g.m}^{-3}$).

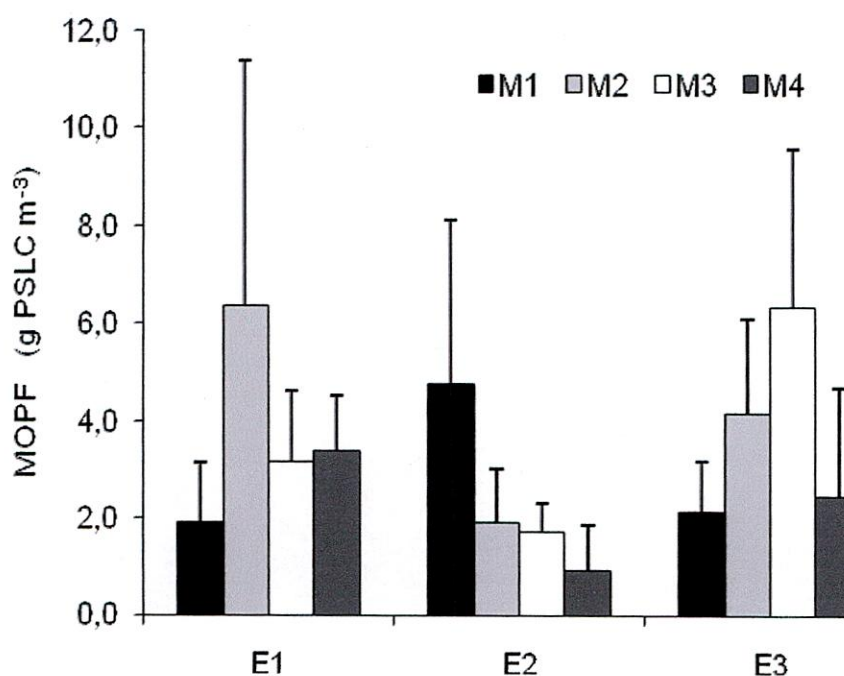


Figura 11. Transporte de MOPF en cada estación de muestreo durante los meses del estudio. E1 = estación 1, E2 = estación 2, E3 = estación 3. Las barras representan una desviación estándar.

Durante los dos primeros muestreos no se observaron diferencias significativas en la movilización de MOPF entre las tres estaciones. Este periodo correspondió a época de sequía (Figura 3). Sin embargo, en M3 se encontraron diferencias significativas en el transporte de MOPF a lo largo del río ($p < 0,05$; $n = 13$; $K-W = 10,51$), registrándose los mayores valores de MOPF en la estación 3, seguida por la estación 1; finalmente la estación 2 que presentó los menores valores (Figura 12).

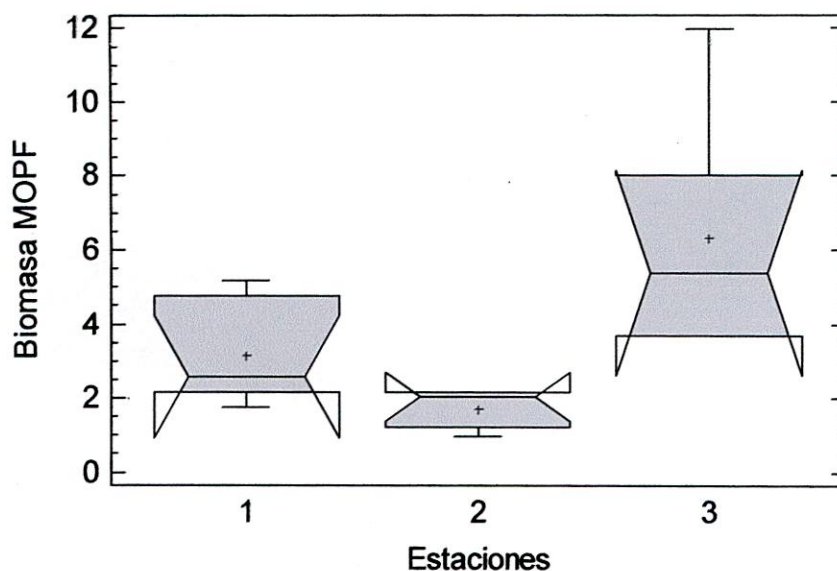


Figura 12. Diagrama de comparación de medianas de la biomasa de MOPF (g.m⁻³) transportada en las estaciones durante M3.

En el M4, los valores más altos de biomasa de MOPF, se registraron en la estación 1, seguido por la estación 3; nuevamente la estación 2 presentó los menores valores (Figura 13). Este periodo hidrológico correspondió al inicio de la época de estabilidad pluviométrica para la zona.

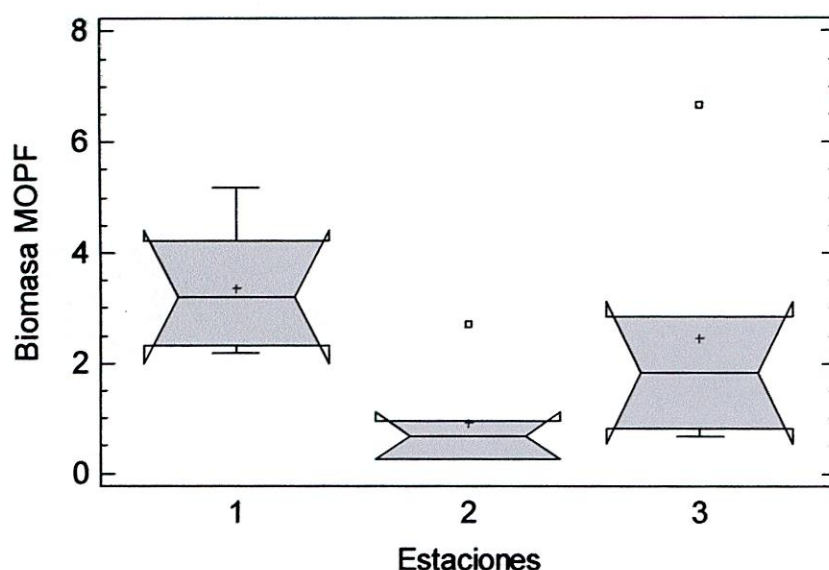


Figura 13. Diagrama de comparación de medianas de la biomasa de MOPF (g.m^{-3}) transportada en las estaciones durante M4.

La estación 2 presentó los valores más altos de MOPF ($3,61 \text{ g PSLC m}^{-3}$) durante el M1, hay que anotar que durante este muestreo se presentaron lluvias en esta estación y correspondieron a las primeras precipitaciones de gran intensidad luego de la época de sequía.

Al igual que con el transporte de MOPG, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$; $n = 30$ $W = 389,5$) en el transporte de MOPF durante el ciclo diario, durante ninguno de los muestreos. Esto que demuestra que las tasas de deriva de MOPG y MOPF fueron similares durante el día y la noche, y que el leve incremento del caudal que generalmente se presenta al inicio de las horas de la noche, no produce un efecto significativo sobre la transporte de estas fracciones de MO.

8.3 DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS

Durante los cuatro muestreos, se colectaron en las tres estaciones de estudio un total de 6625 organismos, distribuidos en 55 taxones, de estos, los más abundantes fueron los simúlidos con un total de 1149 individuos, el 21% de los cuales se colectaron durante M1, el 46 % en M2 y en los dos últimos muestreos (M3 y M4) alcanzaron el 25 % y 6 % respectivamente. Siguiendo en abundancia a este grupo se encuentra el género *Baetodes* (Ephemeroptera) con 1323 individuos y los miembros de la subfamilia Diamesinae con 478 individuos, de los cuales el 36 % se colectaron durante M1 y tan solo el 3,8 % de éstos en M4.

8.3.1 Densidad de Deriva

Los órdenes que presentaron mayores densidades de deriva total durante los muestreos fueron Diptera, Ephemeroptera y Tricoptera con 15,15; 8,46 y 2,70 Ind.m⁻³ respectivamente. Dentro de estos grupos se encontraron los 10 taxones con mayor densidad de deriva (Figura 14). En estos taxones las mayores densidades se presentaron en la estación 1, seguida de la estación 3 y finalmente de la estación 2. Sin embargo, *Leptohyphes* y *Smicridea* presentaron mayores densidades en la estación 3, seguida por la estación 2 y con menor densidad la estación 1.

Se encontraron diferencias significativas en la densidad de deriva durante M2 (SNK = 16,26; n = 18; P < 0,01), en el cual la estación 1 presentó la mayor densidad de deriva. En M4 también se detectaron diferencias significativas entre las estaciones (SNK = 11,49; n = 18; P < 0,01); sin embargo, en este muestreo la estación 3 fue la de mayor densidad de deriva (Anexo 1).

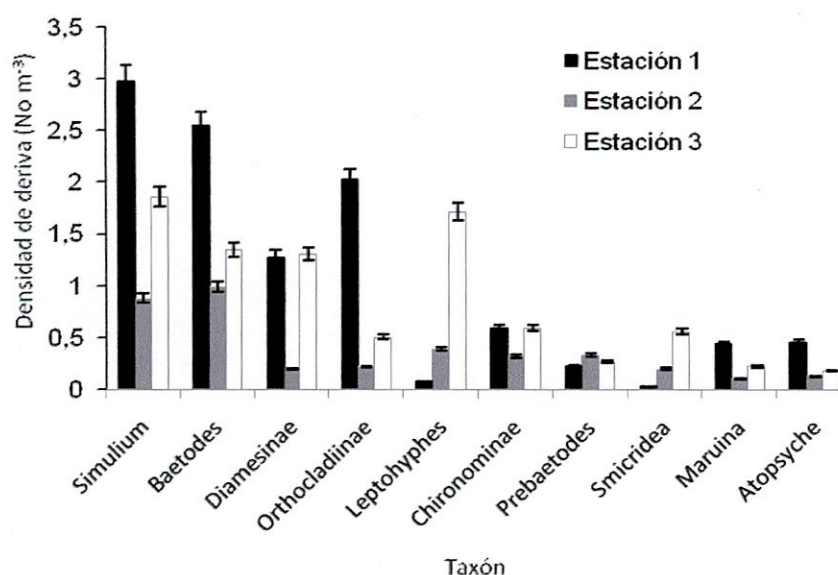


Figura 14. Densidad de deriva de los 10 taxones más numerosos durante todos los muestreos. Las barras indican el error a una desviación estándar.

La periodicidad en la deriva de macroinvertebrados acuáticos en las estaciones fue variable para cada estación. En la estación 1 durante M1 la densidad de deriva fue de $1,07 \pm 0,22 \text{ Ind.m}^{-3}$, evento durante el cual se presentó una dominancia del género *Simulium* (18 % de abundancia), las subfamilias Orthocladiinae y Diamesinae (15 y 12 % respectivamente) y el género *Baetodes* con el 6,5 % de la abundancia del muestreo. Durante el M2 la densidad de deriva aumentó ($2,43 \pm 0,22 \text{ Ind.m}^{-3}$); este periodo en la zona correspondió al de bajas precipitaciones. En M3 y M4 la densidad de deriva disminuyó ($0,79 \pm 0,09 \text{ Ind.m}^{-3}$ y $0,12 \pm 0,013 \text{ Ind.m}^{-3}$ respectivamente). Evento que coincidió con la aparición de las lluvias en el sector; durante estos muestreos se reporta el género *Lachlania*, y aunque con una baja densidad de deriva ($0,0025 \pm 0,00019 \text{ Ind.m}^{-3}$), no había sido registrado en los muestreos anteriores.

En la estación 2 las densidades de deriva fueron poco variables, la mayor densidad la presentó M2 con $0,72 \pm 0,06 \text{ Ind.m}^{-3}$ y la menor densidad el M4 con $0,22 \pm 0,04 \text{ Ind.m}^{-3}$ (Figura 15). Por su parte, la estación 3 evidenció un descenso

en la densidad de deriva acorde con el aumento de los caudales en esta estación (Figura 4). En todas las estaciones se presentaron menores densidades de deriva en los momentos hidrológicos de máximos caudales registrados en el estudio.

La densidad de deriva en el ciclo diario, no mostró diferencias significativas en ninguna de las estaciones, ni en los intervalos de horas seleccionados durante los meses del estudio. Tampoco se observaron diferencias totalizando las estaciones como un solo periodo climático (Tabla 2 y 3) (Anexo 2).

Durante M4 la interacción de los factores, hora - estación, resultó significativa ($K-W = 11,49$; $n = 18$; $P < 0,02$); sin embargo, en la prueba de comparaciones múltiples (SNK) se observó la conformación de un solo grupo de diferencia horaria. En cuanto a las estaciones, la estación 3 fue significativamente distinta (mayor densidad) de las demás.

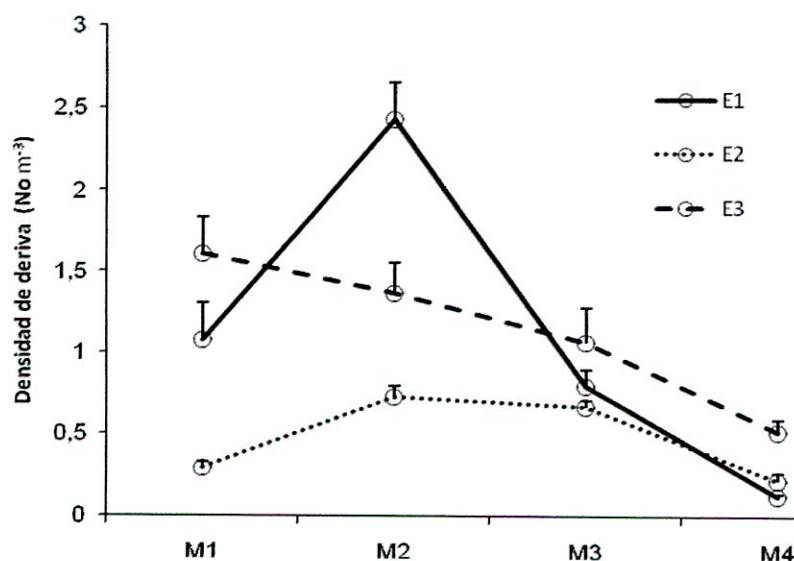


Figura 15. Periodicidad de la densidad de deriva, durante los cuatro muestreos (enero-junio) en cada estación del estudio. M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, M3 = muestreo 3, M4 = muestreo 4. Las barras representan la desviación estándar.

Durante M1, M3 y M4, las mayores densidades de deriva se presentaron en la estación 3; aunque, durante M2 la estación 1 tuvo el valor más alto de todo el periodo de estudio (Tabla 2). En términos generales, los valores de densidad disminuyeron a medida que aparecieron las lluvias en las estaciones del estudio.

Tabla 2. Densidad de deriva total en cada una de las estaciones durante los cuatros muestreos (marzo-junio). . E1 = estación 1, E2 = estación 2, E3 = estación 3. M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, M3 = muestreo 3, M4 = muestreo 4. SD = desviación estándar.

	M1			M2			M3			M4		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Densidad total (Ind m ⁻³)	1.079	0.293	1.609	2.431	0.730	1.366	0.796	0.670	1.064	0.128	0.222	0.519
SD	0.23	0.04	0.23	0.22	0.06	0.19	0.10	0.04	0.22	0.01	0.05	0.08

La tendencia presentada por la densidad de deriva a través del ciclo diario (día-noche) en las estaciones se registra en la Figura 16, en la que se evidencia que las mayores densidades de deriva se presentan en la horas de la noche, no obstante, no hubo diferencias significativas en ninguno de los casos ($P > 0,05$) (Tabla 2). Además, no se observaron patrones en los ciclos diurnos a través de los muestreos, lo que refleja que la densidad de deriva de macroinvertebrados acuáticos durante estos meses fue igual durante el ciclo diario de 24 horas.

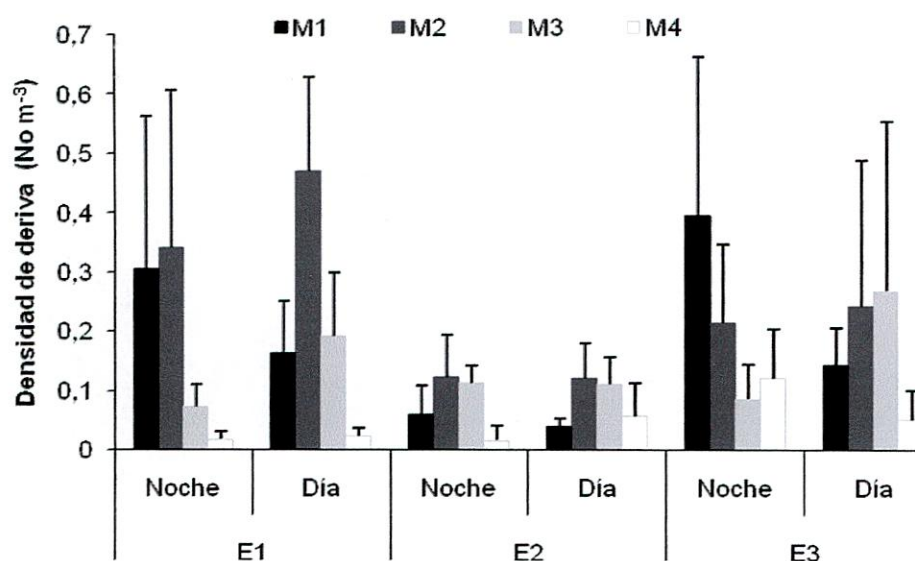


Figura 16. Densidad de deriva de macroinvertebrados en las estaciones de estudio durante los cuatro muestreos. E1 = estación 1, E2 = estación 2, E3 = estación 3. M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, M3 = muestreo 3, M4 = muestreo 4. Las barras representan la desviación estándar.

8.3.2 Biomasa derivante

La biomasa total colectada durante los 4 muestreos en la estación 1 fue $0,0144 \pm 0,0013 \text{ mg.m}^{-3}$, en la estación 2 fue de $0,0033 \pm 0,0002 \text{ mg m}^{-3}$, y en la estación 3 de $0,0047 \pm 0,0007 \text{ mg m}^{-3}$. Estos valores muestran un patrón similar a la densidad de deriva ($r_s = 0,46$; $n = 70$; $P < 0,001$). De manera que el mayor suministro de biomasa por parte de los macroinvertebrados fue en M3 con $0,0074 \pm 0,00048 \text{ mg m}^{-3}$, seguido por M1 con $0,0068 \pm 0,00049 \text{ mg.m}^{-3}$, mientras que en M2 y M4 se presentaron los menores aportes de biomasa, con $0,0052 \pm 0,00033$ y $0,00014 \pm 0,00048 \text{ mg.m}^{-3}$ (Figura 17).

Los mayores aportes de biomasa derivante ocurrieron en el género *Simulium* (Diptera) ($1,90 \pm 1,05 \text{ mg m}^{-3}$), seguido por el género *Baetodes* ($1,62 \pm 0,81 \text{ mg m}^{-3}$) y la subfamilia Orthocladiinae (Diptera: Chironomidae) ($0,91 \pm 0,97 \text{ mg.m}^{-3}$).

Entre los grupos con la menor biomasa derivante se encontró el género *Xiphocentrum* (Trichoptera) ($0,0025 \pm 0,001 \text{ mg.m}^{-3}$) y la subfamilia Stratiominae (Diptera: Chironomidae) ($0,0025 \pm 0,001 \text{ mg.m}^{-3}$).

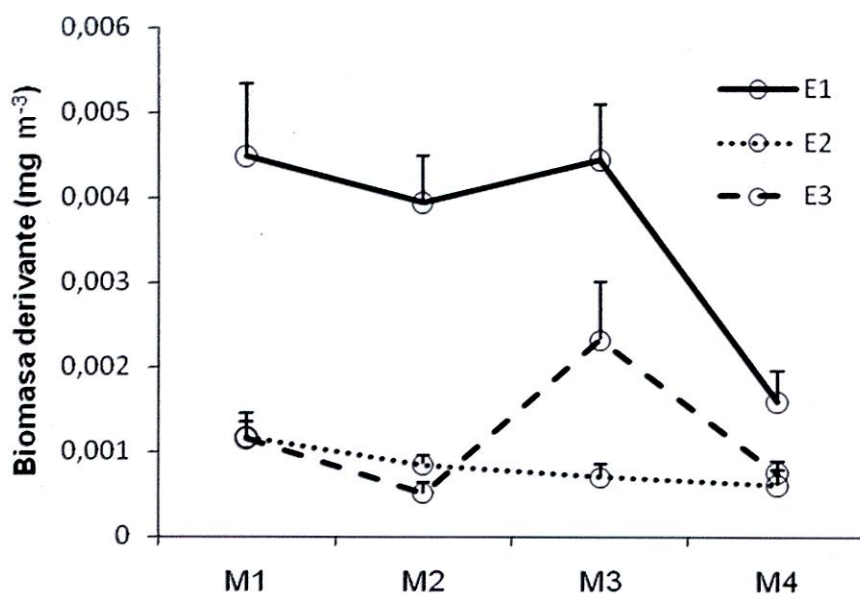


Figura 17. Aporte de biomasa derivante durante los cuatro muestreos (enero-junio) en cada estación del estudio. M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, M3 = muestreo 3, M4 = muestreo 4. Las barras representan la desviación estándar.

En el análisis por estaciones se observa que en la estación 1 se presentaron los mayores aportes de biomasa durante las 4 campañas de muestreo y que estos valores disminuyeron durante los muestreos (marzo - junio). Similar tendencia se presentó en la estación 2, aunque con excepción de M2 que siempre tuvo los menores valores de biomasa. Finalmente la estación 3 expuso un comportamiento estable con un aumento importante en la biomasa durante M3 (Figura 17) (Anexo 3).

Tabla 3. Comparaciones múltiples entre las horas de colecta (Factor A) y las estaciones de muestreo (Factor B) para la densidad (No.m⁻³) y la biomasa (g.m⁻³) derivante, durante los muestreos. GL = grados de libertad; F = valor del estadístico; P = probabilidad.

Tratamiento	GL	F	P	Tratamiento	GL	F	P
Densidad				Biomasa			
Muestreo 1				Muestreo 1			
Factor A	5	0.35	0.878	Factor A	5	2.02	0.099
Factor B	1	1.31	0.259	Factor B	1	6.59	0.015*
Factor A x B	5	0.22	0.953	Factor A x B	5	1.17	0.344
Residuo	36			Residuo	36		
Muestreo 2				Muestreo 2			
Factor A	5	0.48	0.793	Factor A	5	1.77	0.141
Factor B	1	6.88	0.012*	Factor B	1	25.72	0.000**
Factor A x B	5	0.29	0.915	Factor A x B	5	0.85	0.525
Residuo	42			Residuo	42		
Muestreo 3				Muestreo 3			
Factor A	5	1.22	0.317	Factor A	5	2.71	0.032*
Factor B	1	1.05	0.311	Factor B	1	4.04	0.051
Factor A x B	5	1.84	0.125	Factor A x B	5	2.03	0.094
Residuo	42			Residuo	42		
Muestreo 4				Muestreo 4			
Factor A	5	1.6	0.183	Factor A	5	1.84	0.127
Factor B	1	17.79	0.0001**	Factor B	1	2.78	0.103
Factor A x B	5	3.03	0.0201*	Factor A x B	5	1.81	0.132
Residuo	42			Residuo	42		

* P < 0.05; ** P < 0.01

El análisis de varianza realizado para la biomasa entre los factores hora (intervalos de horas de colecta) y estación, resultó significativo en M1 y M2 para el factor estación, en M3 se detectaron diferencias en los intervalos de hora y en ninguno de los muestreos la interacción (hora x estación) fue significativa (Tablas 3 y 4). En vista de estos resultados, los tratamientos se evaluaron de manera independiente para la variable biomasa, se observó así una clara tendencia a la disminución de la biomasa derivante en las horas de la noche (18:00 – 06:00) (Figura 18).

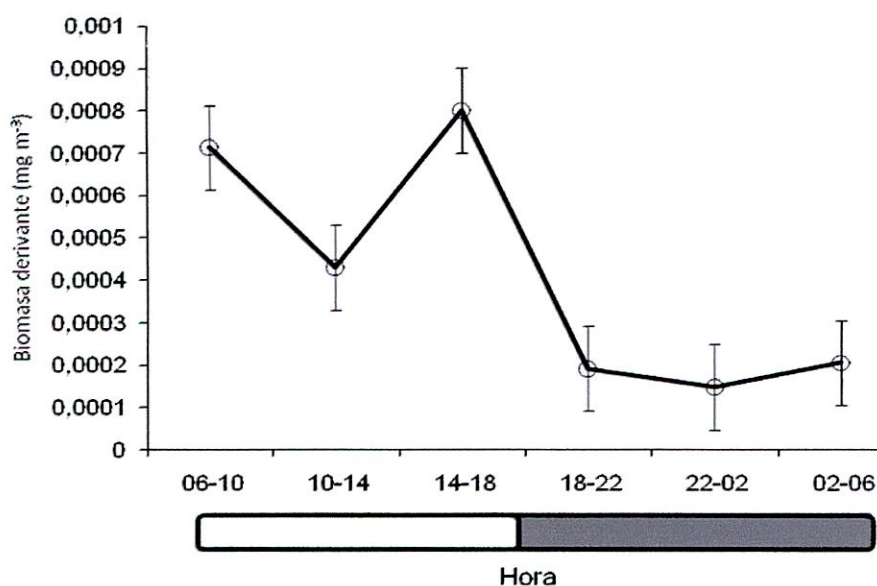


Figura 18. Biomasa derivante durante el ciclo diario con datos promedios de las tres estaciones durante el M3. La parte oscura de la barra indica las horas de oscuridad. Las barras representan la desviación estándar.

Las diferencias detectadas en la biomasa entre las estaciones, evidenció que la estación 1 se separa de las estaciones 2 y 3 por sus mayores valores de esta variable (K-W = 14,33; $n = 18$; $P < 0,001$), lo mismo ocurrió en M2 (K-W = 24,90; $n = 18$; $P < 0,001$).

Tabla 4. Comparación de la densidad y la biomasa en el ciclo diario (día-noche), teniendo en cuenta todos los muestreos, n = número de muestras, W = prueba de Mann Whitney, P = probabilidad.

Tratamiento	n	W	P
<i>Densidad</i>			
Día Vs Noche			
Estación 1	12	79	0.30
Estación 2	18	159	0.24
Estación 3	18	26	0.85
<i>Biomasa</i>			
Día Vs Noche			
Estación 1	12	85	0.27
Estación 2	18	98	0.27
Estación 3	18	51	0.56

8.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO A PARTIR DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS, DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS Y TRANSPORTE DE MO

Para explicar el 74,78 % de la varianza, se requirió de tres componentes. El primer componente explicó el 33,68 %, el segundo el 24,56 % y el tercero el 16,54 % de la varianza.

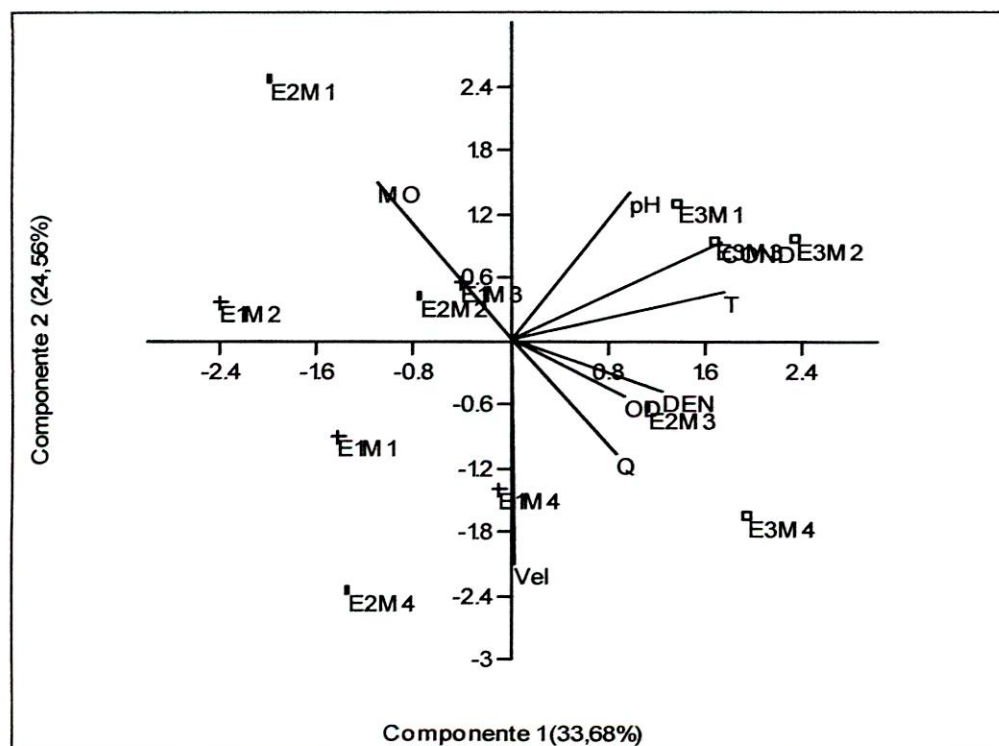


Figura 19. ACP de las variables biológicas, las físicas y químicas. E = estación, M = muestreo, DEN = densidad de deriva (Ind.m^{-3}), MO = Biomasa derivante de MOPG (g.m^{-3}), O_2 = oxígeno disuelto (mg l^{-1}), COND = conductividad ($\mu\text{s m}^{-1}$), T = temperatura ($^{\circ}\text{Celcius}$), Q = caudal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), Vel = velocidad del agua (m s^{-1}).

En el análisis de los dos primeros componentes, se observó que en todos los muestreos realizados la estación 3 presentaron los valores más altos de pH, temperatura (T) y Conductividad (COND). Durante M4, el cual coincidió con el inicio de fuertes precipitaciones (marzo - junio), las variables caudal (Q), velocidad de la corriente (Vel), oxígeno disuelto (OD) y densidad (DEN), presentaron valores altos en todas las estaciones (Figura 19).

Las estaciones se asociaron durante M4, con las variables físicas de caudal y velocidad de la corriente, lo que significa que en este muestreo estas condiciones ambientales fueron particularmente altas. La variable velocidad no suministró suficiente información que explicara la variación de los datos (excepto para M4). Dado que los sólidos totales disueltos (STD) y la conductividad reflejan la misma característica química, esta última variable se excluyó del análisis.

El análisis de correlación evidenció una asociación significativa entre la COND y el pH ($r_s = 0,67$; $n = 12$; $P < 0,05$), la COND y la T ($r_s = 0,85$; $n = 12$; $P < 0,05$) y entre la VEL y la MOPG ($r_s = -0,70$; $n = 12$; $P < 0,05$) (figura 20) (anexo 4).

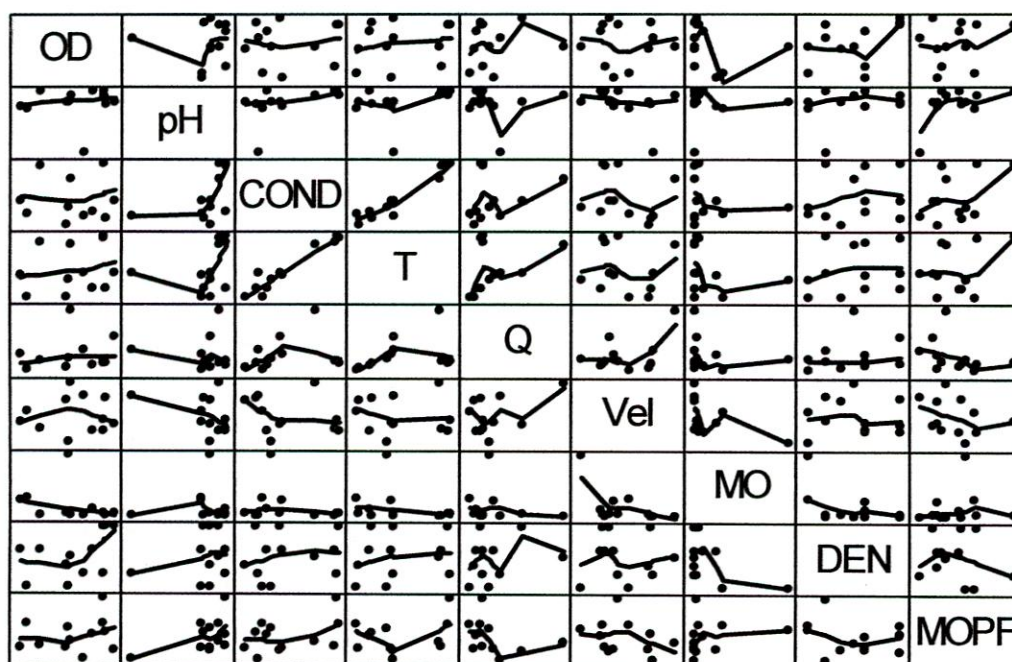


Figura 20. Análisis de correlación de Spearman, entre las variables del estudio. Las curvas fueron suavizadas con dispersión localmente ponderada (regresión cuadrática - 60%). O₂ = oxígeno disuelto (mg l⁻¹), COND = conductividad (μs m⁻¹), T = temperatura (° Celcius) Q = caudal (m³ s⁻¹), Vel = velocidad del agua (m s⁻¹), MO = Biomasa derivante de MOPG (g.m⁻³), DEN = densidad de deriva (Ind.m⁻³).

9. DISCUSIÓN

Las variables físicas y químicas analizadas durante este estudio a lo largo del río Gira, describen este sistema como un río típico tropical de montaña; el cual posee aguas muy oxigenadas y pH cercano a la neutralidad desde su cabecera hasta la parte baja (estación 3). Lo anterior se debe a la alta pendiente del río principal, el cual no supera 40 km de longitud (Tamaris-Turizo y López 2006), tal particularidad, le permite tener un buen sistema de autodepuración. Además, la forma rectangular de la cuenca genera un rápido escurrimiento de las lluvias y por tanto funciona como un indicador de crecientes.

Como la mayoría de los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, el Gaira no tiene una zona potamal desarrollada, y desemboca en el Mar Caribe con las características de un río adulto (Prosierra 1998), por lo que se considera que el aporte de MOPG que desemboca en el mar durante la época de aguas bajas es más importante que la MOPF, contrario a lo propuesto por Vannote *et al.* (1980), para ríos altamente conservados de zonas templadas.

9.1 DERIVA DE MOPG Y MOPF

La biomasa derivante de MOPG y MOPF detectadas en este estudio durante los dos primeros muestreos fue elevada, especialmente por la biomasa de MOPG derivada en la estación 2 durante M1 ($474,74 \pm 92,5$ g PSLC m⁻³). Esta deriva estuvo influenciada por las precipitaciones que se dieron durante el muestreo, ya que la MOPG que se encontraba almacenada en el lecho del río, piedras, ribera y deltas, fue arrastrada luego de unas lluvias finalizando la época bajas precipitaciones, lo que produce aumento en los niveles del caudal y arrastre del material, como lo sugieren Gonçalves *et al.* (2006), Ríos (2008) y Rodríguez-Barrios (2008). Así mismo, Cano (2003) en un estudio de trasvase de una quebrada en Medellín, encontró significancia en la variación del caudal sobre el

transporte de MOPG y MOPF. Sin embargo, Ríos (2008), en la cabecera de un río andino ecuatoriano, registró que los mayores valores de deriva de MOPG se dieron durante la época de aguas bajas, aunque los valores hallados no fueron estadísticamente diferentes de los de la época de lluvias.

Durante los siguientes muestreos la parte alta del río presentó la mayor biomasa derivante de MOPG, las cuales fueron significativamente diferentes a las demás estaciones, lo que confirma que las mayores fracciones de MOPG se dieron en la cabecera de los ríos y disminuyeron con el gradiente altitudinal (Vannote *et al.* 1980). Por otro lado, el transporte de MOPF no presentó esta tendencia, ya que la mayor movilización se dio en la estación 3, pero seguido de la estación 1 y finalmente las menores tasas en la estación 2. Sin embargo, durante M1 la mayor deriva de MOPF se dio en la estación 2; lo que puede significar que esta dinámica puede estar relacionada con otras variables no evaluadas en este estudio, tales como la pendiente y las precipitaciones locales y puntuales como lo sugiere Bilby y Likens (1979) para un río en New Hampshire (USA). No obstante, Rodríguez-Barrios *et al.* (2008) encontraron que el transporte de la MOPF se encuentra muy ligado a la dinámica de las precipitaciones, por tanto, las lluvias no sincrónicas que se dan en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta) pueden influir sobre la dinámica de deriva de la materia orgánica (MO).

Para conocer la dinámica completa del transporte de MO en el río Gaira, es necesario cubrir los meses correspondiente a la temporada de lluvias en la zona (septiembre – noviembre), puesto que en este estudio se muestreo sólo en la época de aguas bajas e inicio de las precipitaciones en el sector.

Los datos de MOPG reportados en este estudio fueron muy elevados con excepción a los observados en M4, en comparación con los reportados por Ríos (2008), Rodríguez-Barrios *et al.* (2008); sin embargo, fueron tres veces más altos a la mayor tasa de deriva registradas por Deluque (2005), la cual fue de 117,7

kg.d⁻¹ en la parte baja del río Gaira, durante el mes de enero; a pesar de todo, en este mes se presentaron fuertes precipitaciones en este año (Tabla 5). El transporte de MOPF fue un poco mayor al reportado por Rodríguez-Barrios *et al.* (2008). Pero en este estudio se detectaron altas tasa de deriva de MOPF en todas las estaciones y tiempos de muestreo (marzo – junio).

Tabla 5. Datos de transporte de MOPG y MOPF, en diferentes periodos climáticos.

Referencia	Fracción de MO	Época Climática	
		Lluvia	Seca
Ríos (2008)	MOPG	0,12	1,50
Rodríguez-Barrios <i>et al.</i> (2008)	MOPG	0,10	0,04
	MOPF	3,20	1,14
Deluque (2005)*	CODT	117.700	3.400
Cano (2003)	MOPG		17,66

* Los datos de MO corresponden a unidades de CODT (carga diaria total de carbono disponible).

La alta pendiente de la cuenca del río Gaira, y la presencia de un gran número de corrientes efímeras e intermitentes, son algunas variables que pudieron influir sobre valores de MOPG y MOPF a lo largo del río. Debido a que con la presencia de precipitaciones, el material almacenado en estas vertientes de pequeñas magnitudes actúa como canales que depositan cantidades importantes de MO sobre el río principal.

9.2 DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS

Los dípteros, efemerópteros y tricópteros, fueron los grupos de macroinvertebrados que presentaron las mayores densidades de deriva, durante todos los muestreos y en todas las estaciones durante este estudio (marzo - junio). Rodríguez-Barrios *et al.* (2006, 2007) hallaron a los efemerópteros como los más

abundantes en un río de segundo orden de Nariño y a los quironómidos como los dominantes (40 % del total de la deriva) en la Quebrada La Vieja (Bogotá). Sin embargo, Quiñones *et al.* (1998) señalan a los tricópteros y los dípteros como los más abundantes en una quebrada de cabecera del río Medellín. Adicionalmente, Ramírez y Pringle (2001) encontraron como grupos dominantes a los camarones (en la zona de tierras bajas) y a los dípteros y efemerópteros (en el piedemonte), de igual manera, Ríos (2008) lo registró en la cabecera de un río andino ecuatoriano. Martzinger y Bass (1994) en Oklahoma (USA) registraron a los efemerópteros, dípteros y camarones; por su parte, March *et al.* (2003), en una isla de Micronesia, registraron como grupos dominantes a los quironómidos y los lepidópteros.

La densidad de deriva a lo largo del río Gaira, mostró diferencias estadísticas sólo durante M2 y M4, detectando las mayores densidades en la estación 1 ($2,43 \pm 0,22 \text{ Ind.m}^{-3}$) durante M2 y en la estación 3 ($0,51 \pm 0,05$) durante M4. En términos, generales las mayores densidades de deriva se presentaron durante los primeros muestreos, los cuales correspondieron a la época de caudales más bajos y disminuyó en todas las estaciones con el incremento de los caudales, aunque esta relación no fue significativa ($r_s = 0,11$; $n = 12$; $P > 0,05$). Esta misma tendencia la encontraron Wilcox *et al.* (2008) para la deriva de Ephemeroptera en el río Colorado, Matzinger y Bass (1995) en el río Oklahoma (USA) y por Rodríguez-Barrios *et al.* (2007) y Quiñones *et al.* (1998) en ríos de Colombia, lo anterior evidencia que los procesos de transporte de organismos están influenciados por eventos hidrológicos (Ríos 2008) e hidráulicos (Wilcox *et al.* 2008).

La biomasa derivante de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, evidenció diferencias estadísticas en las estaciones durante los dos primeros muestreos y, al igual que la densidad de deriva, durante M4 se registraron los menores aportes de biomasa derivante. Sin embargo, la estación 1 presentó los mayores valores de esta variable, aunque no tuvo las mayores densidades durante los muestreos

(marzo – junio). Éste contraste también fue publicado por González *et al.* (2003) en un río del noreste de España. Es importante anotar que se requiere de nuevos estudios para confirmar si los grandes aportes de biomasa que se registraron en la cabecera del río Gaira, como en otros ríos tropicales (Ramírez y Pringle 2001), está dado por las grandes tallas que tienen los organismos de esta zona del río en comparación con aquellos de zonas bajas.

Los valores promedio ($0,0063 \pm 0.007 \text{ mg.m}^{-3}$) de biomasa derivante obtenidos en este estudio, fueron un poco menores a los registrados por Rodríguez-Barrios (2007) para la quebrada la Vieja (Bogotá), pero más de 10 veces inferiores a los registrados en algunos estudios desarrollados en zonas templadas (O'Hop y Wallace 1983; Robinson *et al.* 2002; Romero *et al.* 2005). Este evento puede obedecer a las tallas de los organismos, ya que las reportadas en este río, son muy inferiores a la que registra Rodríguez-Barrios *et al.* (2007), lo que soporta la teoría de que las altas tasas de deriva no se relacionan directamente con altos aportes de biomasa. A esto hay que agregar que el aporte por parte de algunos grupos como los Lepidoptera que aunque durante los muestreos fueron escasos, contribuyen con altos valores de biomasa (biomasa promedio individual: 0,539 mg).

La comunidad de macroinvertebrados derivante, estuvo compuesta por grupos de amplia distribución en Colombia, tal es el caso de los Ephemeroptera y las subfamilias de Diptera registradas en este estudio (Domínguez *et al.* 2001; Zúñiga *et al.* 2001). Sin embargo, la alta abundancia de organismos transportados en la columna de agua, podría suponer que se garantiza un suministro energético (en forma de biomasa) de manera constante a lo largo de todo el río durante la época de aguas bajas.

En cuanto a la deriva en el ciclo diario, en ninguna de las estaciones de muestreo se presentaron diferencias estadísticas en la densidad de deriva y biomasa,

durante los intervalos de horas establecidos (06:00–10:00, 10:00–14:00, 14:00–18:00, 18:00–22:00, 22:00–02:00 y 02:00–06:00), así como tampoco en los ciclos día-noche. Sin embargo, las tendencias de la densidad de deriva y la biomasa mostraron el mismo comportamiento, en el cual las mayores densidades de deriva y aportes de biomasa se presentaron durante las horas del día, lo que deja sin peso el argumento de la hipótesis de que esta aperiodicidad se deba a la altitud (March *et al.* 1998; Ramirez y Pringle 2001).

Estudios previos, desarrollados por Flecker (1992), Ramírez y Pringle (2001), March *et al.* (2003) y Wilcox *et al.* (2008) encontraron que las mayores densidades de deriva de macroinvertebrados acuáticos se encontraron influenciadas por potenciales depredadores como peces y camarones. Sin embargo, aunque durante este estudio no se controló la presencia de estos potenciales depredadores, se puede considerar que algunos macroinvertebrados pueden estar ejerciendo esta función. Estudios recientes sobre contenidos estomacales llevados a cabo en el río Gaira (Tamaris-Turizo *et al.* 2007, Sierra-Labastidas *et al.* 2009) y en Risaralda (Chará 2008) han demostrado que grupos como los Plecoptera (*Anacroneuria*), algunos Odonata (*Heterarina*, *Progomphus* y *Megapodagrion*), un género de Trichoptera (*Polycentropus*) y dos familias de Diptera (Chironomidae y Tipulidae) registraron importantes porcentajes de tejido animal en sus estómagos. Además, muchos de los taxones se encuentran ubicados en gremios tróficos incorrectos, subestimando la potencialidad de los macroinvertebrados como depredadores.



9.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO A PARTIR DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS, DERIVA DE MACROINVERTEBRADOS Y TRANSPORTE DE MO

Las variables químicas evaluadas durante este trabajo, no tuvieron efectos significativos sobre el transporte de MOPG y la densidad de deriva de macroinvertebrados acuáticos ($P > 0,05$). Sólo la velocidad tuvo un efecto significativo sobre el transporte de la MOPG ($r_s = -0,70$; $n = 12$; $P < 0,05$), lo que sugiere que las variables hidráulicas (poco evaluadas en los estudios) influyen en el transporte de este material. Wilcox *et al.* (2008) evaluaron el efecto hidráulico y geomorfológico sobre la deriva de efemerópteros en la cuenca del río Colorado y encontraron que el número de Reynolds y el número de Shields (tasas de fuerzas adimensionales ejercidas por los fluidos) ejercieron efectos significativos sobre las densidades de deriva.

Esto podría llevar a considerar el hecho de que no es suficiente evaluar el aumento de los caudales, en términos de cantidad de agua que pasa por una sección. Es necesario enfocar los trabajos en las fuerzas físicas que ejerce el fluido sobre los organismos y la capacidad que éstos tienen a resistir dichas fuerzas (Allan 1995).

10. CONCLUSIONES

El transporte de la MOPG, presentó diferencias entre estaciones, donde la estación 2 (parte media - 900 msnm), durante M1, presentó el mayor valor durante el estudio ($474,74 \pm 0,2 \text{ Kg.m}^{-3}$). Lo anterior garantiza un suministro energético para organismos como los trituradores, quienes aprovechan de manera directa esta porción de MO, posteriormente, ayudado por la actividad física, la MOPG se transforma en MOPF la cual es aprovechada en gran manera por los colectores de depósito y filtradores, convirtiéndose de esta manera en un aporte importante en la estructura trófica de los ríos por medio de la vía de los detritos.

Los altos aportes de MOG y MOPF registrados durante todo el estudio, sirven de soporte para futuros estudios en los cuales se evalúe el suministro de esta MO a los sistemas efluentes de los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, tal es el caso del Mar Caribe. Además, de su potencial influencia sobre los ecosistemas costeros como los arrecifes de corales los cuales son afectados negativamente por la sedimentación (Díaz y Acero 2003; Restrepo *et al.* 2006).

La MOPG y la MOPF mostraron disminución en el transporte, con la aparición de fuertes lluvias en las estaciones de estudio, esto corrobora que el aumento de las precipitaciones está relacionado con la disminución en el transporte de MOPG y MOPF. Sin embargo, es necesario evaluar variables hidráulicas derivadas del caudal tales como número de Reynolds, número de Froude y la fricción, para conocer sus posibles relaciones con la movilidad de la MO y la deriva de organismos.

Las mayores densidades y biomاسas derivantes de macroinvertebrados acuáticos, en todas las estaciones fueron aportadas por los géneros *Simulium* (Diptera) y *Baetodes* (Ephemeroptera). La alta tasa de transporte de estos organismos, corresponde con sus altas abundancias en el bentos, lo que puede sugerir que estos grupos pueden ser los principales suministros alimenticios para los depredadores del río en estudio. Por su parte, los menores aportes los registraron el género *Xiphocentrum* (Trichoptera) y la subfamilia Stratiominae (Diptera: Chironomidae), quienes a su vez se han registrados bajas abundancias en estudios del bentos realizados previamente.

Como los valores de densidad y biomasa derivante fueron similares a lo largo del ciclo diario durante el desarrollo del estudio, se podría pensar que este comportamiento estuvo dado por: 1. La presión de depredadores como peces y crustáceos sobre los macroinvertebrados acuáticos, al parecer no fue importante como activador de los procesos de deriva nocturna. 2. Los potenciales depredadores ejercen la misma presión de manera constante durante el ciclo diario.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Allan, J.D. 1995. Stream Ecology, Structure and function of running waters. Edit. Chatman y Hall. 388 p.
- Angelier, E. 2002. Ecología de las aguas corrientes. Acribia S.A., España, 217 p.
- Ballesteros, Y. 2004. Contribución al conocimiento del género *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) y su relación con la calidad del agua en el Río Riofrío (Valle del Cauca). Tesis de Maestría, Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Colombia.
- Benfield E.F, J.R. Webster, J.J. Hutchens, Tank J.L. y P.A. Turner. 2000. Organic Matter Dynamics Along a Stream Order and Elevational Gradient in a Southern Appalachian Stream. Verhandlungen International Vereinigung Limnologie. 27:1341-1345.
- Benke, A.C. 1993. Concepts and patterns of invertebrate production running waters.-Verh. Internat. Verein Limnol. (25):15-38
- Benke, A.C., A.D. Huryn, L.A. Smock y J.B. Wallace. 1999. Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular reference to the southeastern United States. J. N. Am. Benthol. Soc. 18(3):308-343
- Bilby, R.E. y G.E. Likens, 1979. Effect of hydrologic fluctuation on the transport of fine particulate organic carbon in a small stream. Limnol. Oceanogr. 24(1):69-75
- Burgherr P. y E. Meyer. 1997. Regresión análisis of linear body dimensions vs. dry mass stream macroinvertebrates. Arch. Hydrobiol. 193(1):101-112
- Cano, W. 2003. Alteración del metabolismo lótico en la Quebrada Piedras Blancas (Medellín) debido al trasvase del caudal. Tesis de Maestría en Biología, Instituto de Posgrados, Universidad de Antioquia 140p.
- Chará, A.M. 2008. Característica trófica de entomofauna asociada a paquetes de hojarasca en tres quebradas de la cuenca media del río Otún (Risaralda, Colombia). Tesis de Pregrado, Universidad del Valle.
- Cressa, C. 1999. Dry mass estimates of some tropical aquatic insects. Rev. Biol. Trop. 47 (1-2):133-141.

Deluque, Y. 2005. Deriva de macroinvertebrados bentónicos y la materia orgánica gruesa en la cuenca baja del río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena, Facultas de Ciencias Básicas, programa de Biología 36p.

Díaz, J.M. y A. Acero. 2003. Marine Biodiversity in Colombia: Achievements, status of knowledge and challenges. *Guayana* 67(2): 261-274

Dobson, M. y C. Frid. 1998. *Ecology of Aquatic Systems*. Longman, 222 p.

Dominguez, E., C. Molineri, M.L. Pescador, M.D. Hubbard y C. Nieto. 2006. Ephemeroptera of South America. In: Adis, J., Arias, J.R. Rueda-Delgado G. y K.M. Wantzen (Eds): *Aquatic Biodiversity in Latin America (ABLA)*. Vol 2. Pensoft, Sofia-Moscow, 646 pp.

Domínguez, E., M.D. Hubbard, M.L. Pescador y C. Molineri. 2001. Ephemeroptera. Págs. 17-53 en H.R. Fernández y E. Domínguez (Ed.), *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán.

Espinal, L.S. y E. Montenegro. 1963. Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa del mapa ecológico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 201 pp.

Flecker, A.S. 1992. Fish predation and the evolution of invertebrate drift periodicity: Evidence from Neotropical streams. *Ecology* 73(2):438-448

Frisell, C.A., W.J. Liss, C.E. Warren y M.D. Hurley. 1986. A hierarchical framework for stream classification: viewing streams in a watershed context. *Env. Manage.* 10:199-214

García, H. y D. Ospino. 2005, Diversidad de escarabajos coprófagos (Coleóptera Scarabaeinae) en un gradiente altitudinal en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa marta, Colombia. Trabajo de pregrado, programa de Biología, facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

Gonçalves, J.F., J. Silva y M. Callisto. 2006. Dynamics of allochthonous organic matter in a tropical Brazilian headstream. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49(6):967-973

González J.M., A. Basaguren y J. Pozo (2003). Macroinvertebrate communities along a third-order Iberian stream. *Int. J. Limnol.* 39: 287-296.

- Lopretto, E. 1995. Crustacea Eumalacostraca. PP: 250-265 En: Estela Lopretto C. y G. Tell (Eds) Ecosistemas de aguas continentales: Metodologías para su estudio / directores Tomo III. La Plata : Ediciones del Sur
- Mathuriau, C. y E. Chauvet. 2002. Breakdown of leaf litter in a neotropical stream. J. N. Am. Benthol. Soc., 21(3):384–396
- March, J., J. Benstead, C. Pringle y M. Luckymis. 2003. Benthic Community Structure and Invertebrate Drift in a Pacific Island Stream, Kosrae, Micronesia. Biotropica. 35(1):125130
- Martzingler, M. y D. Bass. 1994. Doenstream drift of aquatic insects in the blue river of south – central Oklahoma. Poc. Okla. Acad. Sci.75: 13-19
- Merritt, R. W. y K. W. Cummins. 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 2da ed. Kendall /Hunt, Dubuque, 482 p.
- Monsalve, G. 1999. Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2a. Edición. Bogotá D. C. 382 p.
- Muñoz-Quesada, F. 2004. El Orden Trichoptera (Insecta) en Colombia, II: inmaduros y adultos, consideraciones generales, pp 319-349. En: F. Fernández et al. (eds.). Insectos de Colombia, Volumen 3. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.
- Naiman, R.J., J.M Melillo, M.A. Lock, T.E. Ford y S.R. Reice. 1987. Longitudinal patterns of ecosystem processes and community structure in a subarctic river continuum. Ecology 68(5):1139-1156
- O'Hop, J. y B. Wallace. 1983. Invertebrate drift, discharge, and sediment relations in a southern Appalachian headwater stream. Hydrobiologia 98: 71-84
- PROSIERRA - Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta. 1998. Evaluación Ecológica Rápida de la Sierra Nevada de Santa Marta. Definición de Áreas Críticas para la Conservación de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ministerio del Medio Ambiente, UAESPNN The Nature Conservancy –USAID- Embajada de Japón. 134 p.
- Quiñones M, J.J. Ramírez y A. Díaz. 1998. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivadores en la zona de ritral del río Medellín. Actual Biol. 20(69):75-86.
- Ramírez, A. y C. Pringle. 2001. Spatial and temporal patterns of invertebrate drift in streams draining a Neotropical landscape. Freshwater Biology 46:47-62.

Restrepo, J.D., P. Zapata, J.M. Díaz, J. Garzón-Ferreira y C.B. García. 2006. Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystem: The Magdalena River, Colombia. *Global and Planetary Change* 50:33-49

Richardson, J.S., R.E. Bilby y C.A. Bondar. 2005. Organic matter dynamics in small streams of the Pacific Northwest. *Journal of the American Water Resources Association* 921-934.

Ríos, B. 2008. Comunidades de macroinvertebrados en un río altoandino: Importancia del hábitat, dinámica de la deriva, papel de la materia orgánica y relevancia de la ovoposición. Tesis Doctoral, Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona 154p.

Robinson, C.T., K. Tockner y P. Burgherr. 2002. Seasonal patterns in macroinvertebrate drift and seston transport in streams of an alpine glacial flood plain. *Freshwater Biology* 47: 985-993

Rodriguez-Barrios, J., R. Ospina-Torres y J.D. Gutiérrez. 2008. Entradas y transporte de materia orgánica en una quebrada tropical de montaña. Bogotá, Colombia. *Caldasia* 30(2):349-367

Rodríguez-Barrios, J., R. Ospina-Torres, J.D. Gutiérrez y H. Ovalle. 2007. Densidad y biomasa de macroinvertebrados acuáticos derivantes en una quebrada tropical de montaña (Bogotá, Colombia). *Caldasia* 29(2):397-412

Rodríguez-Barrios, J., R. Ospina-Torres, M. Berrío, B. Cepeda, G. Castellanos y M. Valencia. 2006. Variación diaria de la deriva de macroinvertebrados acuáticos y de materias orgánica en la cabecera de un río tropical de montaña en el departamento de Nariño, Colombia. *Acta Bol. Colomb.* Vol.11 supl.1, p.47-53

Romero, N. R.E. Greeswell y J.L. Li. 2005. Changing patterns in coastal cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki clarki*) diet and prey in a gradient of deciduous canopies. *Can. J. Fish. Aquat.* 62:1797-1807

Sarmiento, G. 1987. Los principales gradientes ecoclimáticos en los Andes tropicales. *Anales del IV Congreso Latinoamericano de Botánica*, Bogotá. 47-64p

Smok, L. 2007. Macroinvertebrate movements: Drift, Colonization, and Emergence. En: Hauer, F.R. y G.A. Lamberti (Eds). 2^{da} edition. *Methods in stream ecology*. Academy Press. 466 pp.

Sierra-Labastidas, T., S. Reyes-Picon y C. Tamaris-Turizo. 2009. Producción secundaria y hábitos alimenticios del género *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) en el río Gaira, Colombia. *Caldasia* (En prensa).

Stead, T. K, J. M. Schmid-Araya y A.G. Hildrew. 2003. All creatures great and small: patterns in the stream benthos across a wide range of metazoan body size. *Freshwater Biology* (48): 532–547.

Tamaris-Turizo, C. R. Turizo y M. del C Zúñiga. 2007. Distribución espacio-temporal y hábitos alimentarios de ninfas de *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). *Caldasia* 29(2): 375-385

Tamaris-Turizo, C. y H.J. López-Salgado. 2006. Aproximación a la zonificación climática de la cuenca del río Gaira. *Intropica* 3(1): 69-76

Vannote R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell y C.E. Cushing 1980. The River Continuum Concept. *Can J Fish Aquat Sci.*37:130-137.

Wallace, J.B., J.J. Hutchens y J.W. Grubaugh. 2007. Transport and storage of MOPF. pp: 249-272 Hauer F.R. y Lamberti G.A. (Eds). In: *Methods in stream ecology*. Academy Press. China.

Wallace J.B., T.F. Cuffney, J.R. Webster, G.L. Lugthart, K. Chung y B.S. Goldowitz. 1991. Export to f fine organic particles from headwater streams: effects of season, extreme discharges and invertebrate manipulation. *Limnol Oceanogr.* 36(4):670-682

Wantzen, K.M., C.M. Yule y J.M. Mathooko. 2008. Organic matter processing in tropical streams. pp: 44-60 In: D. Dudgeon (Ed). *Tropical Stream Ecology*. Academic Press, USA.

Wantzen, K.M. y W.J. Junk. 2000. The importance of stream-wetland-systems for biodiversity: a tropical perspective. pp:11-34 In: Gopal, B., W. J. Junk, and J. A. Davies, (Eds). *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*. Backhuys, Leiden, The Netherlands:

Waters, T.F. 1965. Interpretation of invertebrate drift in stream. *Ecology* 46(3):327-334.

Webster J.R, E.F. Benfield, T.P. Ehrman, M.A. Schaeffer, J.L. Tank, J.J. Hutchens y D.J. D'Angelo. 1999. What Happens to Allochthonous Material that Falls Into Streams? A Synthesis of New and Published Information from Coweeta. *Fresh Biol.*41:687-705.

Wilcox, A.C., B.L. Peckarsky, B.W. Taylor y A.C. Encalada. 2008. Hydraulic and geomorphic effect on mayfly drift in high-gradient streams at moderate discharges. *Ecohydrol.* 1: 176-186